



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISIS DAMPAK REAKSI TANAH AKIBAT PEKERJAAN PEMBANGUNAN *FLYOVER* TELUK LAMONG TERHADAP PIPA GAS

ACHMAD WINANDIANTO

NRP. 04311440000058

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng

Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



FINAL PROJECT - MO141326

SOIL REACTION EFFECT ANALYSIS TO GAS PIPE DUE TO TELUK LAMONG FLY OVER CONSTRUCTION WORK

ACHMAD WINANDIANTO

NRP. 04311440000058

Supervisor:

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng

Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D

Ocean Engineering Departement

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAMPAK REAKSI TANAH AKIBAT PEKERJAAN PEMBANGUNAN *FLYOVER* TELUK LAMONG TERHADAP PIPA GAS

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Achmad Winandianto

NRP. 043114410000058

Disetujui Oleh :

- 
1. Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Pembimbing 1)
 2. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 2)
 3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 1)

Surabaya, Juli 2018

ANALISIS DAMPAK REAKSI TANAH AKIBAT PEKERJAAN PEMBANGUNAN *FLYOVER* TELUK LAMONG TERHADAP PIPA GAS

Nama Mahasiswa : Achmad Winandianto

NRP : 04311440000058

Departemen : Teknik Kelautan – FTK ITS

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Pembangunan *flyover* dari dan menuju terminal teluk lamong melewati berbagai fasilitas dan infrastruktur yang sudah ada (*existing building*), salah satu infrastruktur yang di lewati oleh *flyover* adalah pipa gas tertanam. Perlu adanya analisis mengenai dampak pekerjaan pembangunan pada integritas pipa. Beberapa pembahasan yang akan dilakukan meliputi tinjauan getaran yang dihasilkan oleh penanaman pondasi serta tinjauan tekanan yang diakibatkan beban vertikal akibat jatuhnya material konstruksi dan kendaraan berat yang melintas pada lokasi tanam pipa. Dari analisis didapat hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan sebesar 7.72, 5.22, 0.48 kN/m² untuk kendaraan dengan berat 10, 5, dan 0.5 ton, sedangkan untuk beban tumbukan dihasilkan tekanan sebesar 3.97, 8.65, 12.15 kN/m² dan kedalaman penetrasi 2.9003E-05, 0.000144732, 0.000288759 m untuk tumbukan dengan ketinggian jatuh 1, 5, dan 10 meter. Untuk getaran akibat pemancangan pondasi dari jarak 5m mengakibatkan getaran 18.81625, 21.45382, dan 21.95229 mm/s menurut tiga variasi ketinggian *hammer pile*. Dari semua tinjauan analisis tidak ada parameter tinjauan yang melewati nilai parameter yang diatur dalam *Codes and Standard* sehingga dapat disimpulkan bahwa pekerjaan pembangunan tidak mengurangi integritas pipa.

Kata kunci: *existing building*, pipa gas, dampak pembangunan, *pile induced vibration*, beban vertikal.

SOIL REACTION EFFECT ANALYSIS TO GAS PIPE DUE TO TELUK LAMONG FLY OVER CONSTRUCTION WORK

Student Name : Achmad Winandianto

NRP : 04311440000058

Departement : Ocean Engineering – Faculty of Marine Technology ITS

Final Project Advisor : Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Teluk Lamong flyover road is going to be build on top of numerous existing public facility, one of the most critical facility below the flyover road is a gas pipeline buried just 1 meter underground. It is very crucial to conduct an analysis reviewing the effect of soil effect due to construction work to gas pipeline integrity. The analysis consists of reviewing the effect of vertical weight due to heavy duty vehicle, falling construction material, and effect of pile driving ground induced vibration. The analysis carries out the result of pressure on the pipe due to heavy duty vehicle to be 7.72, 5.22, 0.48 kN/m² due to 10, 5, and 0.5 ton of vehicle respectively, and due to falling construction material resulting 3.97, 8.65, 12.15 kN/m² pressure on pipe and 2.9003E-05, 0.000144732, 0.000288759 m soil penetration for 1, 5, and, 10 m construction material falling height. The ground vibration due to pile driving done 5m from the pipe analysis resulting in 18.81625, 21.45382, and 21.95229 mm/s with three different height of hammer pile drop. According to the analysis given, none of the result exceed value given in respective codes and standard, as for the construction work will give no threat to pipe integrity.

Key word: existing building, gas pipe, work construction effect, pile induced vibration, vertical weight.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT. yang maha pengasih dan maha penyayang. Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. atas kuasa dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Reaksi Tanah Akibat Pembangunan *Flyover* Teluk Lamong dan Dampaknya Terhadap Pipa Gas”.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan sebagai salah satu upaya memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata-1 (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat berguna untuk dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Achmad Winandianto

04311440000058

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat disusun tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya untuk semua yang membantu penulis selama proses pembuatan tugas akhir ini dari awal hingga akhir baik secara moril maupun materil, yaitu:

1. Allah SWT atas segala kenikmatan yang tak ada habis habisnya selama kehidupan saya, baik nikmat sehat, iman dan taqwa,
2. Ibunda Windrati Wijyaningrum dan Ayahanda R. Achmad Yusuf yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan baik mental maupun materi serta doa sedari awal sampai selesainya tugas akhir,
3. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., sebagai dosen pembimbing satu dalam tugas akhir ini. Terima kasih atas waktu, bimbingan, ilmu, kesempatan serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini,
4. Bapak Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D., sebagai dosen pembimbing dua sekaligus dosen wali penulis. Terima kasih atas waktu, ilmu, kesempatan serta dukungan dengan sangat sabar kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, Terima kasih pula atas bimbingan, dukungan dan arahan bapak sehingga penulis bisa menjadi mahasiswa yang lebih baik,
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada penulis selama menjalani perkuliahan,
6. Maghfirah Bungas Muwifanindita, Keluarga Anti Wibu, *No Hard Feeling*, Arek Arek, Pencod, Fun da metal, Surya *Knight Returns* dan teman teman lainnya, atas segala kegiatan di dalam dan di luar kampus selama mengerjakan tugas akhir, karena mereka saya tidak terlalu menyesal berkuliah di Surabaya,
7. Keluarga besar angkatan MAELSTROM P-54 L-32 yang selalu mendukung penulis hingga selesainya tugas akhir ini,
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah turut berperan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Tanah dan Karakteristiknya	9
2.2.2 Parameter Data Tanah.....	14
2.2.3 Response Tanah dan Aplikasi Terhadap Pipa.....	16
2.2.4 Beban Vertikal Tanah	17
2.2.5 Getaran Tanah	23
2.2.6 Program Bantu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29

3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Prosedur Penelitian	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Model Struktur Tanah	33
4.1.1 Konversi Data Tanah	33
4.1.2 Permodelan Numerik Struktur Tanah	35
4.1.3 Sensitifitas <i>Mesh</i>	35
4.2 Model Struktur Pipa.....	38
4.3 Permodelan Gaya Eksternal	39
4.3.1 Beban Vertikal	39
4.3.2 Getaran Tanah	46
4.4 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Eksternal	49
4.4.1 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Kendaraan.....	49
4.4.2 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Tumbukan.....	50
4.4.3 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Getaran.....	53
4.5 Validasi Response Tanah	56
4.5.1 Validasi Response Tanah Akibat Beban Kendaraan	56
4.5.2 Validasi Response Tanah Akibat Beban Tumbukan	60
4.5.3 Validasi Response Tanah Akibat Getaran	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
Daftar Pustaka.....	73
LAMPIRAN - LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi rencana pembangunan flyover	2
Gambar 1.2 Penampang melintang pembangunan dan posisinya terhadap pipa gas.....	2
Gambar 2.1 Ilustrasi aktivitas pembangunan yang mempengaruhi pipa gas	7
Gambar 2.3 Prosedur Standard Penetration Test	15
Gambar 2.4 Data tanah pada lokasi menggunakan SPT	16
Gambar 2.5 Beban pada pipa tertanam akibat tanah menggunakan analisis soil-spring	17
Gambar 2.6 Volume tanah diatas pipa	18
Gambar 2.7 Alur penyaluran getaran tanah yang diakibatkan oleh penanaman pondasi	23
Gambar 2.8 Ilustrasi analisis menggunakan software Plaxis 3D pada kasus embarkment	27
Gambar 3.1 Diagram Alir	29
Gambar 4.1 Data Tanah	33
Gambar 4.2 Ilustrasi model struktur tanah pada program PLAXIS 2D.....	35
Gambar 4.3 Hasil analisis <i>mesh sensitivity</i> berdasarkan jumlah elemen	37
Gambar 4.4 Model struktur tanah dan pipa pada program PLAXIS 2D	38
Gambar 4.5 Grafik hasil iterasi peak pressure untuk menentukan <i>offset</i>	40
Gambar 4.6 Model pembebanan terpusat akibat berat kendaraan	42
Gambar 4.7 Grafik perbandingan kecepatan jatuh dan ketinggian girder	44
Gambar 4.8 Grafik perhitungan beban pada permukaan menurut ketinggian jatuh	45
Gambar 4.9 Model pembebanan merata akibat beban tumbukan.....	46
Gambar 4.10 Ilustrasi <i>pile driver</i> dan ketinggian jatuh <i>hammer</i>	47
Gambar 4.11 Permodelan getaran tanah akibat penanaman pile	48
Gambar 4.12 Grafik hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan	50
Gambar 4.13 Grafik tekanan pada pipa akibat beban tumbukan	51
Gambar 4. 14 Grafik kedalaman penetrasi girder di tanah menurut tinggi jatuh girder.	53
Gambar 4.15 Getaran pada pipa dengan variasi ketinggian jatuh <i>hammer</i>	56

Gambar 4. 16 Grafik perbandingan hasil hitungan manual beban kendaraan	58
Gambar 4. 17 Deformasi tanah dengan perbesaran 500 kali pada simulasi beban kendaraan 15 ton	58
Gambar 4. 18 <i>Total Stress</i> tanah pada simulasi beban kendaraan 15 ton	59
Gambar 4. 19 Perbandingan tekanan pada pipa akibat beban kendaraan dengan properti pipa.....	60
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan hasil perhitungan tekanan akibat beban tumbukan manual dengan keluaran PLAXIS 2D.....	62
Gambar 4. 21 Grafik perbandingan hasil perhitungan kedalaman penetrasi manual dengan keluaran PLAXIS 2D	64
Gambar 4.22 Deformasi tanah dengan perbesaran 500 kali pada simulasi beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m.	65
Gambar 4.23 <i>Total Stress</i> tanah pada simulasi beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m.....	65
Gambar 4. 24 Perbandingan tekanan pada pipa akibat beban tumbukan dengan properti pipa.....	66
Gambar 4. 25 <i>Total Velocity</i> tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh <i>pile hammer</i> 18 m.	67
Gambar 4. 26 <i>Total Velocity</i> tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh <i>pile hammer</i> 23,4 m.	68
Gambar 4. 27 <i>Total Velocity</i> tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh <i>pile hammer</i> 24,25 m.	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi <i>Unified</i>	14
Tabel 2.2 Beban hidup yang diteruskan ke pipa	20
Tabel 2.3 Faktor tumbukan menurut tinggi timbunan pipa	21
Tabel 2.4 Nilai konstanta untuk persamaan 2-6.....	25
Tabel 4.1 Harga parameter tanah CH kedalaman 0-13 dan 15-20.....	34
Tabel 4.2 Harga parameter tanah CL kedalaman 0-13 dan 15-20	34
Tabel 4.3 Dimensi model pada program PLAXIS 2D	35
Tabel 4.4 Perkiraan jumlah elemen per model menurut pengaturan mesh (sumber : PLAXIS 8.4 Reference Manual)	36
Tabel 4.5 Hasil analisis <i>mesh sensitivity</i> berdasarkan jumlah elemen.....	37
Tabel 4.6 Spesifikasi pipa gas.....	38
Tabel 4.7 Asumsi parameter pada iterasi <i>offset</i>	39
Tabel 4.8 Hasil iterasi peak pressure pada penentuan <i>offset</i>	39
Tabel 4.9 Pembagian <i>Gross Vehicle Weight Rating (GVWR)</i> yang dikeluarkan oleh <i>Federal Highway Administration (FHWA)</i>	40
Tabel 4.10 Beban kendaraan per roda.....	41
Tabel 4.11 Spesifikasi girder dan parameter tanah	42
Tabel 4.12 Hasil perhitungan kecepatan jatuh girder	43
Tabel 4.13 Hasil perhitungan beban girder menurut ketinggian.....	45
Tabel 4.14 Jarak maksimal getaran menurut <i>codes and standards</i>	47
Tabel 4.15 Energi yang dihasilkan oleh <i>hammer</i> dengan tiga ketinggian berbeda	48
Tabel 4.16 Hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan	49
Tabel 4.17 Hasil tekanan pada pipa akibat beban tumbukan.....	51
Tabel 4.18 Hasil penetrasi tanah akibat beban tumbukan.....	52
Tabel 4.19 Spesifikasi <i>hammer</i>	53
Tabel 4.20 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh <i>hammer</i> 18 m.....	54
Tabel 4.21 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh <i>hammer</i> 23.4 m.....	55
Tabel 4.22 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh <i>hammer</i> 24.5 m.....	55
Tabel 4. 23 Hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D beban kendaraan	57
Tabel 4. 24 Hasil simulasi tekanan perangkat lunak PLAXIS 2D beban tumbukan ...	61

Tabel 4. 25 Hasil simulasi penetrasi girder perangkat lunak PLAXIS 2D beban tumbukan.....	63
Tabel 4. 26 Hasil simulasi getaran perangkat lunak PLAXIS akibat penanaman pondasi	67
Tabel 4. 27 Perbandingan PPV akibat penanaman pondasi dengan <i>Codes and Standards</i> DIN 4150-3.	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

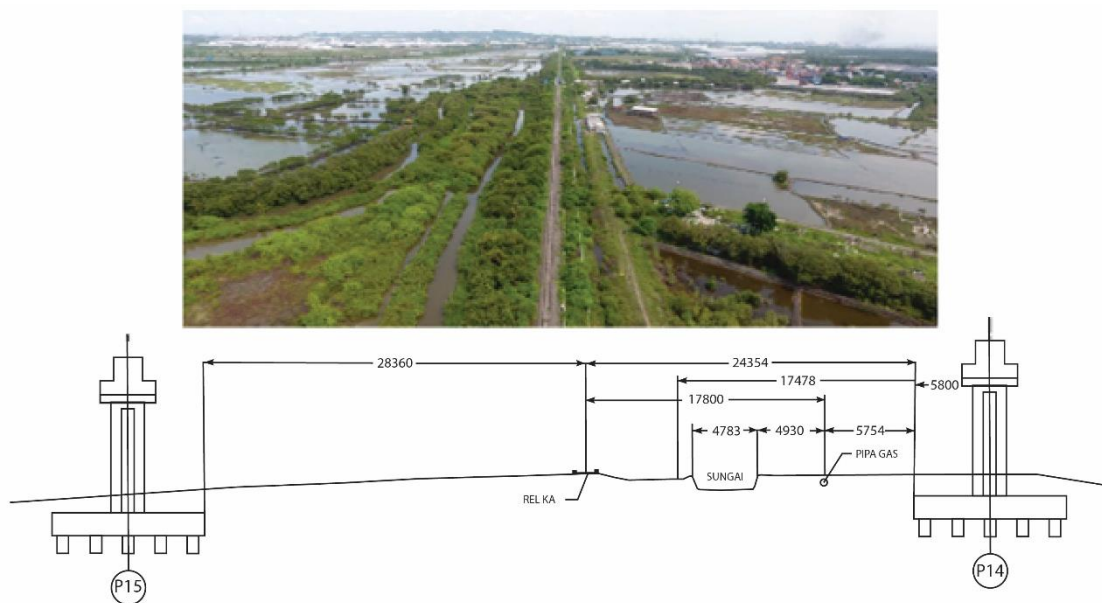
Pencanangan konsep pengangkutan logistik tol laut sebagai salah satu agenda prioritas Nawacita serta revitalisasi pelabuhan laut yang sudah ada, terutama pengembangan Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Bitung sebagai Hub Port berkelas internasional, Belawan, Tanjung Priok, Tanjung Perak, Makassar dan Sorong (Joko Widodo, 2014) untuk meningkatkan industri maritim baik persiapan maupun pelaksanaannya telah berjalan sejak tahun 2014. Beberapa usaha yang akan atau telah dijalankan dan merupakan bagian dari konsep tersebut adalah terciptanya empat proyek prioritas kategori “*ports*” yang membantu mewujudkan konsep pengangkutan logistic tol laut, dimana tiga proyek merupakan proyek pembangunan pelabuhan dan satu proyek *inland waterways* (Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas, 2018).

Selain proyek prioritas, terdapat juga beberapa proyek strategis nasional yang salah satunya adalah pembangunan *flyover* dari dan menuju terminal teluk lamong. Terminal teluk lamong yang di operasikan oleh PT Terminal Teluk Lamong merupakan sebuah terminal multi-fungsi, penyedia jasa container baik lokal maupun internasional, dan *dry bulk* (PT Terminal Teluk Lamong, 2018), satu satunya akses jalan yang dapat dilalui untuk mencapai terminal teluk lamong adalah dengan melalui ruas jalan Tambak Oso Wilangan yang tingkat kepadatan tertingginya mencapai 4.366,4 smp/jam dengan derajat kejenuhan hingga 0,59 (Tamajaya, 2012). Faktor tersebut terjadi salah satunya akibat tingginya frekuensi kendaraan berat seperti truk pengangkut peti kemas dan kontainer yang melewati jalan tersebut. Pembangunan *flyover* dari dan menuju terminal teluk lamong ditujukan untuk mengurangi beban kendaraan pada jalan Tambak Oso Wilangan dan dapat meniadakan kepadatan dan kemacetan di ruas jalan tersebut (Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas, 2018), rencana pembangunan flyover dari dan menuju teluk lamong dillustrasikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Ilustrasi rencana pembangunan flyover
(sumber: Laporan analisa resiko flyover dari dan menuju teluk lamong)

Pembangunan *flyover* dengan kontur jalan layang sepanjang 1,8 kilometer yang melewati berbagai fasilitas dan infrastruktur yang sudah ada (*existing building*), salah satu infrastruktur yang di lewati oleh *flyover* adalah jalur kereta api dimana tertanam pipa utilitas yang salah satunya adalah pipa gas yang posisinya sejajar dengan jalur kereta api dan tertanam satu meter dibawah permukaan tanah seperti diilustrasikan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Penampang melintang pembangunan dan posisinya terhadap pipa gas

Pada proses pembangunan *flyover* serta aktivitas yang akan dilaksanakan baik diatas pipa yang tertanam seperti jatuhnya material konstruksi dan kendaraan berat yang digunakan selama proses pembangunan maupun pemancangan pondasi *flyover* (P14) yang berada di samping dari pipa yang dapat menghasilkan getaran yang biasa disebut *Pile Induced Ground Vibration*, sehingga mungkin membahayakan integritas dari pipa karena beban yang tidak terdapat pada pertimbangan desain. Menjadi jelas bahwa perlu adanya pertimbangan pertimbangan terkait dampak dari pembangunan *flyover* tersebut terhadap bangunan atau fasilitas yang sudah ada (*existing building*) di sekitar lokasi pembangunan terutama pada pipa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi objek studi Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa *pile induced ground vibration* yang terjadi selama aktivitas pemancangan pondasi *flyover* serta pengaruhnya pipa?
2. Berapa deformasi tanah karena penetrasi dan beban yang disalurkan tanah pada pipa serta pengaruhnya akibat jatuhnya benda berat (material konstruksi) pada permukaan tanah, dengan kondisi pipa ditanam sedalam satu meter dari permukaan tanah?
3. Berapa beban yang disalurkan tanah pada pipa serta pengaruhnya akibat oleh kendaraan yang melintas pada permukaan tanah, dengan kondisi pipa ditanam sedalam satu meter dari permukaan tanah?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan besar *pile induced ground vibration* yang dihasilkan oleh pemancangan pondasi *flyover* dan pengaruhnya terhadap pipa.
2. Mendapatkan besar deformasi tanah karena penetrasi dan beban statis yang disalurkan oleh tanah kepada pipa serta pengaruhnya akibat jatuhnya benda berat (material konstruksi).

3. Mendapatkan besar beban dinamis yang disalurkan oleh tanah kepada pipa serta pengaruhnya akibat kendaraan yang melintas pada permukaan tanah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pandangan mengenai efek serta memperlihatkan pengaruh aktivitas konstruksi dari segi geoteknik terhadap bangunan yang sudah ada (*existing bulding*), terutama pada bangunan dan atau fasilitas yang tertanam, fasilitas seperti pipa yang digunakan sebagai sarana transport kebutuhan kebutuhan vital seperti gas dan minyak bumi yang beresiko tinggi jika terjadi kebocoran merupakan salah satu contoh fasilitas yang harus dipertimbangkan keselamatan serta keamanannya selama proses konstruksi. Selain itu diharapkan pula penulis dapat menambah pengetahuan, pengalaman, serta memberikan masukan masukan untuk perusahaan yang sedang menjalankan ataupun akan menjalankan proyek baik pada proyek yang diteliti oleh penulis maupun proyek proyek lain yang memiliki lingkup kerja serta permasalahan yang sama.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis ini membahas response tanah yang diakibatkan oleh proyek pembangunan *flyover* dari dan menuju teluk lamong serta efeknya terhadap pipa
2. Analisis dilakukan dalam kondisi pipa tidak beroperasi sehingga beban internal pada pipa diabaikan.
3. Konfigurasi tanah berupa tanah lempung lunak dan berair (*unsaturated soft clay*).
4. Analisis beban vertikal menggunakan pipa API 5L X65 sebagai validasi.
5. Analisis Pile Induced Ground Vibration menggunakan *codes and standards* DIN 4150-3.

6. Pipa berada diatas permukaan air tanah sehingga *buoyancy force* diabaikan.
7. Analisis menggunakan Software Plaxis 2D

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang aspek penulisan antara lain latar belakang, maksud dan tujuan, batasan masalah, tempat dan waktu, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Merupakan penjelasan mengenai dasar teori yang berkaitan dengan precipitation hardening stainless steel, parameter pengelasan, sifat mekanis baja, dan struktur mikro baja.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas mengenai diagram alir penelitian, prosedur penelitian, dan pengujian yang dilakukan terhadap sampel.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Memberikan pembahasan mengenai pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, Gambar, maupun grafik dan kemudian memberikan analisa dari hasil pengujian tersebut dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.

BAB V KESIMPULAN

Menjabarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

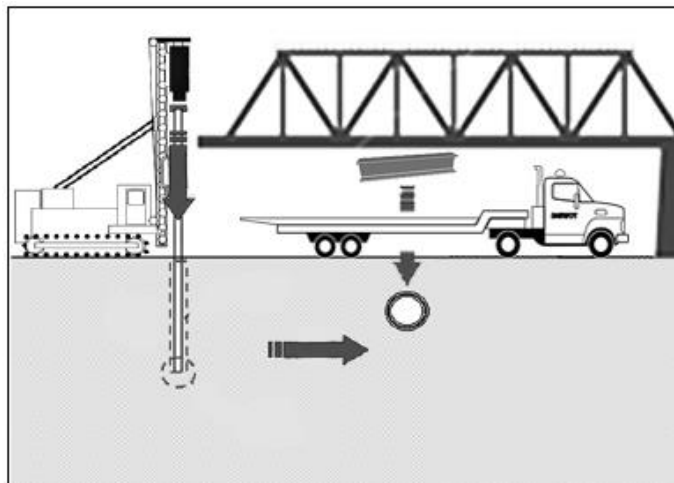
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Terdapat berbagai aktivitas dalam proses pembangunan konstruksi, baik presensi kendaraan berat, penanaman pondasi, serta instalasi bahan konstruksi. Berbagai kegiatan tersebut akan memberikan dampak bagi lingkungan, terutama pada fasilitas yang sudah ada (*existing facility*), salah satu contohnya adalah pipa tertanam. Pipa tertanam menjadi salah satu fasilitas yang sering menjadi subjek dari getaran (Husain, 2011) dan juga berbagai beban, baik beban hidup, beban tanah, maupun beban tumbukan (G. A. Antaki, 2001)

Pada aktivitas pemancangan, hentakan yang diakibatkan oleh penanaman pondasi mengakibatkan getaran yang berbahaya bagi fasilitas yang rentan terhadap efek getaran seperti fasilitas yang tertanam (K. Rainer Massarsch, 2007). Sama halnya dengan beban kendaraan yang melintas serta kemungkinan adanya bahan konstruksi yang jatuh diatas fasilitas tertanam seperti pada yang dimuat dalam *American Lifelines Alliance Guidelines* (2001). Beberapa aktivitas pembangunan diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi aktivitas pembangunan yang mempengaruhi pipa gas

(modifikasi Gambar: K. Rainer Massarsch, 2007)

Untuk aktivitas pemancangan yang mengakibatkan getaran tanah diakibatkan oleh energi yang disalurkan oleh *pile driver* ke *pile* dan tersalurkan ke tanah sehingga tanah mengalami getaran yang direpresentasikan sebagai *peak particle velocity* (K. Rainer Massarsch, 2007). Berbagai literatur telah melakukan standarisasi mengenai getaran di seluruh dunia, seperti yang dikeluarkan oleh *Central Mining Research Institute* oleh negara India pada tahun 1993, *Australia Standard A-2183*, *Hungarian Standard*, *USSR Standard*, *Swiss Standard*, dan *DIN Standard 4150* oleh negara Jerman. Sedangkan untuk beban vertikal yang diterima oleh tanah disalurkan hingga memberikan efek kepada pipa, *American Lifelines Alliance Guidelines* memuat berbagai beban yang diaplikasikan pada pipa seperti beban kendaraan yang dikutip dari, *American Association of State Highway and Transportation Officials* yang telah mengeluarkan *standard* mengenai beban kendaraan yang juga di kelompokkan dengan beban kereta api oleh *Cooper Railway* dan pesawat terbang. Untuk beban akibat *drop object* juga dimuat pada *American Lifelines Alliance Guidelines* dengan memuat formula beban yang tersalurkan pada pipa dari beban *drop object*.

Beberapa analisis mengenai pipa *onshore* telah banyak dilakukan. Analisis pipa *onshore* oleh Friga (2011) telah membahas beberapa fenomena yang terjadi pada pipa tertanam, seperti pengaruh temperatur, tekanan internal, dan kedalaman tanah terhadap *upheaval buckling*. Beberapa literatur lain seperti Sutrisno (2017) telah melakukan analisis mengenai dampak pemancangan pada bangunan. Sedangkan Rudiansyah (2009) telah melakukan tinjauan tingkat kerusakan bangunan akibat aktivitas pemancangan pondasi dimana Rudiansyah menganalisis perbedaan tingkat kerusakan secara teoritis, dengan hasil pengamatan di lapangan. Untuk analisis beban vertikal, Iqba (2015) telah melakukan analisis mengenai *settlement* tanah akibat beban vertikal berupa kendaraan berat maupun aktivitas industri terhadap pipa LPG di Semarang.

Dengan berbagai literatur untuk sebagai sumber, penulis mencoba melakukan penelitian mengenai pengaruh fenomena tanah seperti beban

vertikal dan getaran tanah terhadap pipa tertanam dengan kasus proyek pembangunan *flyover* teluk lamong.

2.2 Dasar Teori

Pembangunan fasilitas sipil maupun industri yang tidak direncanakan dengan baik dapat mengakibatkan berbagai kendala bahkan kerugian yang lebih besar daripada manfaat yang diberikan. Analisis- analisis kompleks dibutuhkan untuk menjaga integritas pembangunan, pada pembangunan fasilitas berupa struktur yang terpancang di tanah terdapat berbagai analisis dengan berbagai variasi metode yang ada, salah satu analisis yang perlu dilakukan adalah analisa geoteknik.

2.2.1 Tanah dan Karakteristiknya

Analisa geoteknik merupakan sebuah analisis yang mempertimbangkan sifat mekanis material bumi. Geoteknik menggunakan prinsip-prinsip seperti mekanika tanah dan batuan untuk menentukan parameter parameter yang diperlukan masing masing bidang (Terzaghi, 1996). Tanah sebagai pertimbangan utama analisis geoteknik memiliki berbagai sifat dan perilaku tertentu yang sangat luas, banyak dari sifat dan perilaku tanah dipengaruhi oleh ukuran, bentuk dan komposisi kimia yang membentuk tanah. Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Pada awalnya tanah terbentuk dari sebuah proses yang dinamakan *weathering*, terdapat berbagai macam jenis *weathering*, diantaranya *chemical weathering*, *physical weathering*, dan *biological weathering*. Proses *weathering* sendiri adalah proses pemecahan batuan untuk nantinya menghasilkan partikel partikel tanah. Pada akhirnya partikel tanah secara garis dikategorikan berdasarkan ukuran partikelnya, tanah dikategorikan sebagai *gravel*, *sand*, *silt*, atau *clay* yang tiap kategorinya memiliki ukuran partikel bervariasi (Das, 2006). Secara umum dari hasil survei lapangan dan tes laboratorium tanah memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Braja M Das, 1998):

1. Permeabilitas tanah
2. Kemampuan dan konsoliditas tanah
3. Kekuatan tegangan geser tanah
4. Klasifikasi tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah antara lain: bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Secara umum, tanah dapat dimasukkan ke dalam 2 (dua) kelompok berdasarkan sifat lekatnya yaitu tanah tak berkoheisi (*cohesionless soil*) dan tanah kohesif (*cohesive soil*). Tanah tak berkoheisi adalah tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antar butirnya seperti pasir. Sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung.

2.2.1.1 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kecepatan air menembus tanah pada periode tertentu dan dinyatakan dalam cm/jam (Foth, 1978). Sedangkan permeabilitas tanah juga dapat menyatakan kemampuan tanah melalukan air yang bisa diukur dengan menggunakan air dalam waktu tertentu.

Nilai permeabilitas penting dalam menentukan penggunaan dan pengelolaan praktis tanah. Permeabilitas mempengaruhi penetrasi akar, laju penetrasi air, laju absorpsi air, drainase internal dan pencucian unsur hara (Donahue, 1977).

Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah menurut (Hillel, 1971) antara lain adalah tekstur tanah, porositas distribusi ukuran pori, stabilitas agregat, stabilitas struktur tanah serta kadar bahan organik. Hubungan yang lebih utama terhadap permeabilitas tanah adalah distribusi ukuran pori sedangkan faktor-faktor yang lain hanya ikut menentukan porositas dan distribusi ukuran pori. Tekstur kasar mempunyai permeabilitas yang tinggi dibandingkan dengan tekstur halus karena tekstur kasar mempunyai pori makro dalam jumlah banyak sehingga umumnya

tanah yang didominasi oleh tekstur kasar seperti pasir umumnya mempunyai tingkat erodibilitas tanah yang rendah.

Ada 2 (dua) macam permeabilitas yaitu: permeabilitas jenuh dan tak jenuh. Permeabilitas jenuh (aliran jenuh) adalah permeabilitas terjadi apabila seluruh pori terisi oleh air. Nilai permeabilitas ditentukan dengan data lapangan dan data analisis laboratorium berbeda dengan nilai permeabilitas tanah dalam keadaan jenuh.

2.2.1.2 Kemampuan dan Konsoliditas Tanah

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam 2 (dua) kelompok besar, yaitu:

1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

2.2.1.3 Kekuatan Tegangan Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relative antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

1. Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (*c soil*).
2. Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam (*ϕ soil*).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (*c* dan *ϕ soil*), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena *ϕ*).

2.2.1.4 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya (Braja M Das, 1988). Ada 2 (dua) macam klasifikasi tanah antara lain klasifikasi berdasarkan tekstur dan klasifikasi berdasarkan pemakaian, untuk analisis kali ini klasifikasi tanah yang digunakan ialah berdasarkan pemakaian

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Pada saat ini ada 2 (dua) buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *atterberg*. Sistem yang digunakan pada analisis ini adalah Sistem Klasifikasi *Unified*.

- Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada masa kini, *Unified Soil Classification System* (USCS) dapat digunakan secara luas oleh para ahli. Sistem klasifikasi *Unified*

diberikan dalam Tabel 2.1. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam 2 (dua) kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir-kasar (*coarsed-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-frained-soil*), yaitu: tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.

Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah freksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40.
3. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah di mana 0 – 12% lolos ayakan No. 200.
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200).

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi *Unified*
(terjemahan : California Department of Transportation)

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran terhalus saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	Pasir bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk butiran atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clays)
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _i	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kerikil dari 5% lolos saringan no. 200 GW, GP, GM, GC, SM, SC, SW, SP, SM, SC, dan SP.

Batas-batas Atterberg yang mempunyai simbol berikut:

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW

Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$

Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW

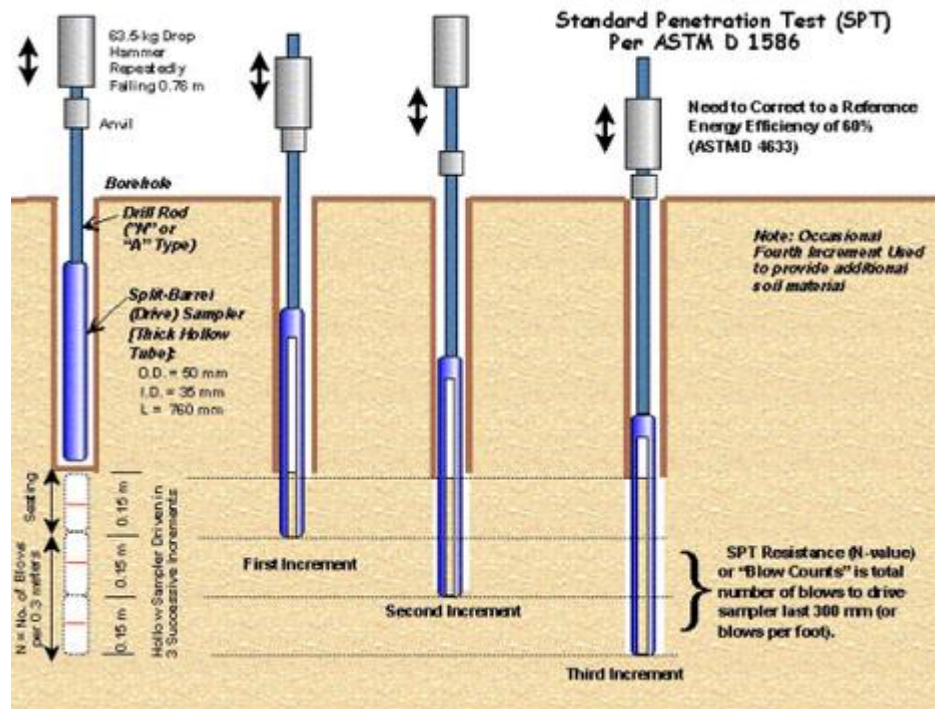
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$

Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$

Diagram plastisitas. Untuk mengklasifikasi tanah berdasarkan Indeks Plastisitas (PI) dan Batas Cair (LL). Batas-batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diberi label: CL, OL, MH atau CH, dan OH. Garis A: $P_i = 0.73(LL - 20)$

2.2.2 Parameter Data Tanah

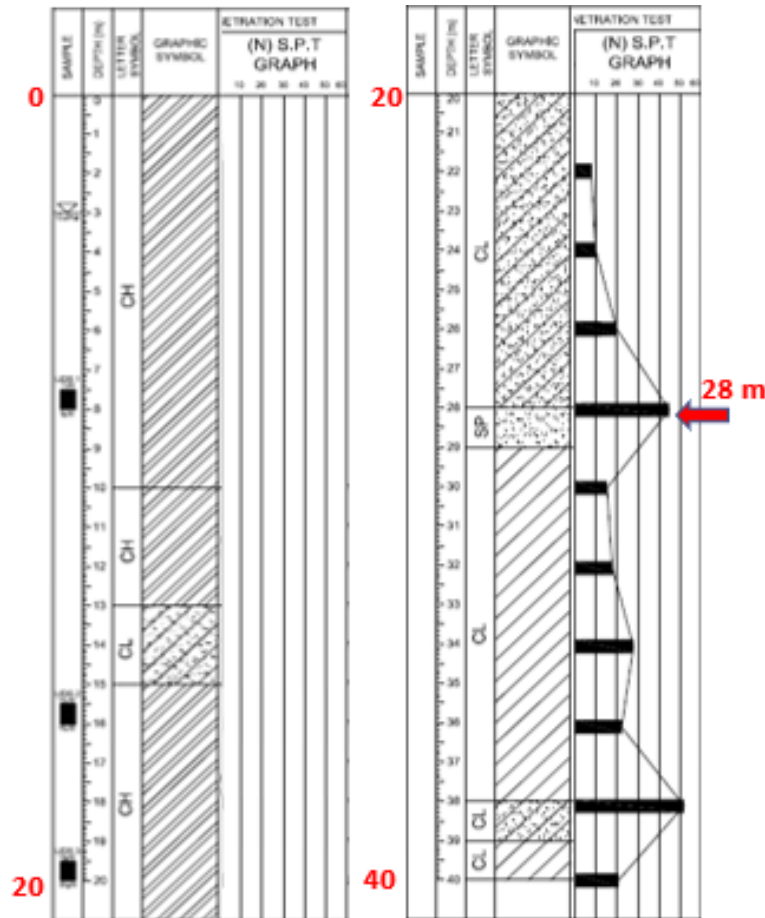
Dalam proses analisis dibutuhkan data tanah untuk memenuhi parameter parameter yang dibutuhkan selama analisis, pengambilan data dapat dilakukan menggunakan berbagai metode yang tersedia, pada penelitian ini data diambil menggunakan metode *Standard Penetration Test* (SPT). SPT merupakan sebuah tes penetrasi in-situ dinamis untuk mengambil data data properti tanah yang prosedurnya dimuat di beberapa literatur seperti ISO 22476-3, ASTM D1586 dan Australian Standards AS 1289.6.3.1, seperti dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prosedur Standard Penetration Test

(sumber : ASTM D 1586)

Kegunaan utama tes ini adalah untuk memberikan indikasi densitas relatif dan daya dukung dari tanah yang didasari dari simpanan tanah yang diambil selama tes. SPT banyak digunakan karena kegunaannya yang sederhana dan murah. Parameter kekuatan tanah yang diketahui dari tes hanya berbentuk perkiraan, tetapi dapat memberikan berbagai informasi yang berguna saat kemungkinan untuk mendapatkan contoh tanah dengan tingkat daya dukung tinggi. Berikut contoh hasil SPT pada lokasi analisis seperti dimuat pada Gambar 2.3.



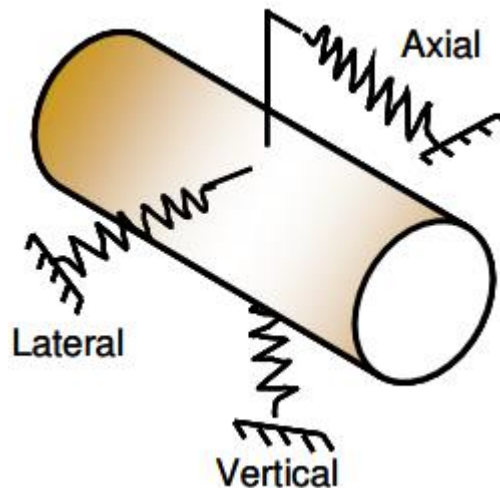
Gambar 2.3 Data tanah pada lokasi menggunakan SPT

Data tanah berisi data sampel, kedalaman, simbol huruf, simbol grafik, dan hasil uji daya dukung tanah menggunakan SPT.

2.2.3 Response Tanah dan Aplikasi Terhadap Pipa

Menggunakan teknologi modern, response tanah dan variasinya dapat dideteksi dan dipetakan dengan hasil yang cukup baik. Bagaimanapun ketelitian dari data gerakan tanah sangat sulit digunakan karena kurangnya model yang terpercaya untuk menghubungkan *displacement* dengan kondisi pipa yang tertanam, salah satu metode yang digunakan untuk menentukan kondisi pipa adalah dengan menggali pipa lalu menentukan kondisi pipa secara visual pada permukaan tanah, untuk itu sangatlah penting untuk membuat serta menganalisa gerakan tanah serta akibatnya terhadap pipa secara numerik dan analisis.

Berat yang dipengaruhi oleh tanah terhadap pipa yang tertanam dapat dibagi menjadi beberapa jenis menggunakan analisis *soilspring* tradisional, pada kasus ini beban dibagi menjadi tiga arah sederhana berdasarkan sumbu dari pipa, yaitu : (a) beban yang bekerja pada sumbu yang sama dengan axis pipa (*axial*), (b) beban yang tegak lurus secara horizontal dengan axis pipa (*lateral*), (c) beban yang mengarah tegak lurus secara vertikal dengan axis pipa (*vertical*), seperti pada Gambar 2.5. Dengan mempertimbangkan material pipa, dapat digunakan persamaan dan formula yang sesuai dengan kriteria beban serta bantuan dari program pendukung, dapat ditemukan apakah beban yang terjadi dapat mengganggu integritas dari pipa (Weerasekara, 2011).



Gambar 2.4 Beban pada pipa tertanam akibat tanah menggunakan analisis soil-spring

(sumber : *American Lifelines Alliance, 2001*)

Dengan begitu untuk membuat baik model analitis maupun numerik, adalah sesuatu yang penting untuk mengetahui beban pada arah yang ditinjau, tidak lupa memvalidasi hasil analisis menggunakan *codes and standard* sebagai acuan.

2.2.4 Beban Vertikal Tanah

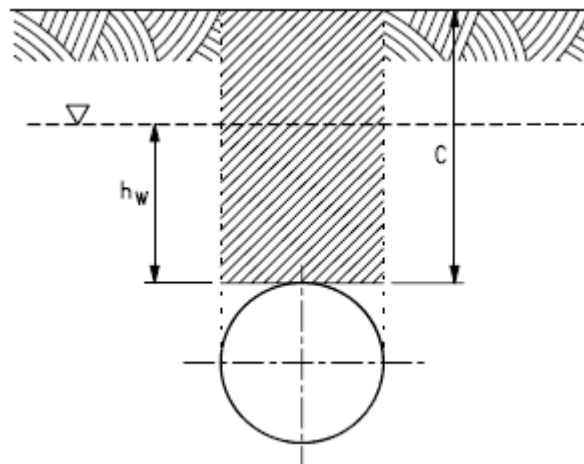
Beban vertikal pada tanah merupakan hal yang sangat wajar terjadi pada fasilitas tertanam seperti pipa, beban vertikal juga menjadi salah satu

perhatian utama dalam mendesain pipa terutama dalam kondisi tidak beroperasi, dikarenakan pipa tidak di dalam pengaruh tekanan internal. Pada kebanyakan kondisi operasi, beban vertikal akibat tanah dapat di netralkan akibat ketidakimbangan perbandingan harga tekanan internal dengan eksternal (G. A. Antaki, 2001).

Pertimbangan mengenai beban vertikal menjadi penting jika pipa bertempat pada lokasi dengan banyak aktivitas berat seperti jalan raya, rel kereta, maupun tempat pembangunan. Pada kasus pembangunan akibat dari beban vertikal tambahan baik dari kendaraan maupun *drop object* dapat memberikan beban pada tanah yang tersalurkan ke pipa. Terdapat tiga jenis beban jika dikategorikan menurut sumbernya yaitu beban tanah, beban hidup, dan beban tumbukan (G. A. Antaki, 2001).

2.2.4.1 Beban Tanah

Untuk memperhitungkan beban tanah pada pipa tertanam pipa dianggap fleksibel dan mengaplikasikan prosedur desain untuk pipa fleksibel, untuk pipa fleksibel yang ditanam pada galian yang ditimbun kembali, beban tanah yang di aplikasikan adalah beban volume tanah dengan lebar menyesuaikan dengan pipa dan tinggi sama dengan kedalaman pipa seperti ilustrasi pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Volume tanah diatas pipa

(sumber : American Lifelines Alliance, 2001)

Terdapat dua kondisi beban tanah terhadap pipa tertanam, pertama kondisi dimana pipa ditanam diatas permukaan air tanah dan pipa ditanam dibawah permukaan air tanah. Untuk perhitungan berat tanah terhadap pipa diatas permukaan air tanah sebagai berikut.

$$P_v = \gamma C \quad (2-1)$$

Dimana:

- P_v = Tekanan tanah pada pipa
- γ = Total berat kering pada timbunan
- C = Tinggi timbunan diatas pipa

Sedangkan untuk kondisi dimana pipa ditanam dibawah permukaan air tanah efek dari *buoyancy* akibat kandungan air ditambahkan ke perhitungan sehingga menjadi:

$$P_v = \gamma_w h_w + R_w \gamma_d C \quad (2-2)$$

Dimana:

- P_v = Tekanan tanah pada pipa
- γ_d = Berat jenis kering tanah pada timbunan
- C = Tinggi timbunan diatas pipa
- h_w = Tinggi permukaan air diatas pipa
- γ_w = Berat jenis air
- R_w = *Water buoyancy factor* = $1 - 0.33 h_w / C$

2.2.4.2 Beban Hidup

Sebagai tambahan beban tanah, pipa juga dapat terbebani dengan beban hidup terkonsentrasi maupun beban hidup terdistribusi. Beban besar yang terkonsentrasi seperti yang diakibatkan oleh roda truk, beban lokomotif, maupun pesawat terbang merupakan beberapa contoh praktis.

Sesuai dengan ketentuan spesifikasi desain, efek dari beban hidup dapat merujuk pada *AASHTO HS-20 truck loads*, *Cooper E-80 railroad loads*, atau *18kips airplane gear assembly load* seperti yang tertera pada Tabel 2.3. Harga dari tekanan akibat beban hidup P_p diberikan dalam satuan psi dan disertakan pula faktor tumbukan $F' = 15$ untuk merepresentasikan hentakan

dan *irregularities* pada permukaan, faktor tumbukan lain dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.2 Beban hidup yang diteruskan ke pipa

(sumber : *American Lifelines Alliance, 2001*)

Beban hidup yang diteruskan ke pipa lb/in ²				Beban hidup yang diteruskan ke pipa lb/in ²			
Tinggi timbunan, ft	Highway H20*	Railway E80†	Airport±	Tinggi timbunan	Highway H20*	Railway E80†	Airport±
1	12,50	-	-	14	§	4,17	3,06
2	5,56	26,39	13,14	16	§	3,47	2,29
3	4,17	23,61	12,28	17	§	2,78	1,91
4	2,78	18,40	11,27	20	§	2,08	1,53
5	1,74	16,67	10,09	22	§	1,91	1,14
6	1,39	15,63	8,79	24	§	1,74	1,05
7	1,22	12,15	7,85	26	§	1,39	§
8	0,69	11,11	6,93	28	§	1,04	§
10	§	7,64	6,09	30	§	0,69	§
12	§	5,56	4,76	35	§	§	§
				40	§	§	§

Catatan:

- * Mensimulasi beban truk 20 ton, dengan tumbukan
- † Mensimulasi beban rel 80.000 lb/feet, dengan tumbukan
- ± Mensimulasi 180.000-pound dual-tandem gear assembly, 26-inch jarak antara roda dan 66-inch jarak pusat ke pusat dari roda depan ke belakang, diatas *rigid pavement* dengan ketebalan 12 inches.
- § Pengaruh beban hidup pada pipa tertanam tidak diperhitungkan.

Tabel 2.3 Faktor tumbukan menurut tinggi timbunan pipa
(sumber : *American Lifelines Alliance, 2001*)

Instalasi pada permukaan				
Tinggi timbunan	Jalan raya	Rel kereta	Landasan pesawat	<i>Taxiways, aprons, hardstands, run-up pads</i>
0 – 1	1,50	1,75	1,00	1,50
1 – 2	1,35	1,50	1,00	1,35
2 – 3	1,15	1,50	1,00	1,35
> 3	1,00	1,35	1,00	1,15

Untuk beban hidup yang tidak terdapat pada Tabel menurut *AASHTO HS-20 truck loads, Cooper E-80 railroad loads, atau 18kips airplane gear assembly load* maka tekanan P_p pada pipa tertanam yang diakibatkan oleh beban terkonsentrasi tanpa tumbuk dapat diformulasikan sebagai berikut

$$P_p = \frac{3P_s}{2\pi C^2 \left[1 + \left(\frac{d}{C} \right)^2 \right]^{2.5}} \quad (2-3)$$

Dimana:

P_p = Tekanan yang tersalurkan pada pipa tertanam

P_s = Beban terkonsentrasi pada permukaan tanah

C = Kedalaman timbunan pipa

d = Jarak offset dari pipa ke garis aplikasi beban pada permukaan

Tekanan P_p harus dikalikan dengan faktor tumbukan untuk merepresentasikan hentakan dan *irregularities* pada permukaan seperti yang ada pada Tabel 2.4.

2.2.4.3 Beban Tumbukan

Pada bagian ini beban tumbukan yang dimaksud adalah beban yang diakibatkan oleh jatuhnya benda dengan beban yang cukup berat jatuh dari ketinggian yang signifikan, untuk itu menggunakan nilai faktor F' seperti

yang di aplikasikan pada beban hidup tidak cukup untuk mengidentifikasi efek dari tumbukan pada pipa tertanam. Beban pada permukaan tanah yang diakibatkan oleh beban W dari benda jatuh dapat diformulasikan sebagai berikut

$$P_{max} = \sqrt{\frac{32WH_fGr_0}{\pi^2(1-\nu)}} \quad (2-4)$$

Dimana:

- P_{max} = Beban maksimal pada permukaan tanah, poundforce
- W = Beban dari objek
- H_f = Ketinggian jatuh objek
- r_0 = Radius horizontal terdekat dari objek
- ν = *Poisson's ratio* dari tanah
- G = *Shear modulus* dari tanah

Untuk tumbukan dengan posisi sangat dekat dengan pipa tertanam, tekanan tersalurkan dapat diidentifikasi dengan mengaplikasikan nilai P_{max} pada formula (2-4) sebagai beban terkonsentrasi pada permukaan tanah ke formula (2-3). Selain tekanan, beban objek yang jatuh dapat terkonsentrasi hingga terjadinya penetrasi pada permukaan tanah yang memungkinkan untuk mengganggu integritas pipa. Kedalaman penetrasi akibat benda jatuh dapat diformulasikan sebagai berikut

$$x_p = kP_a \log \left(1 + \frac{V^2}{215,000} \right) \quad (2-5)$$

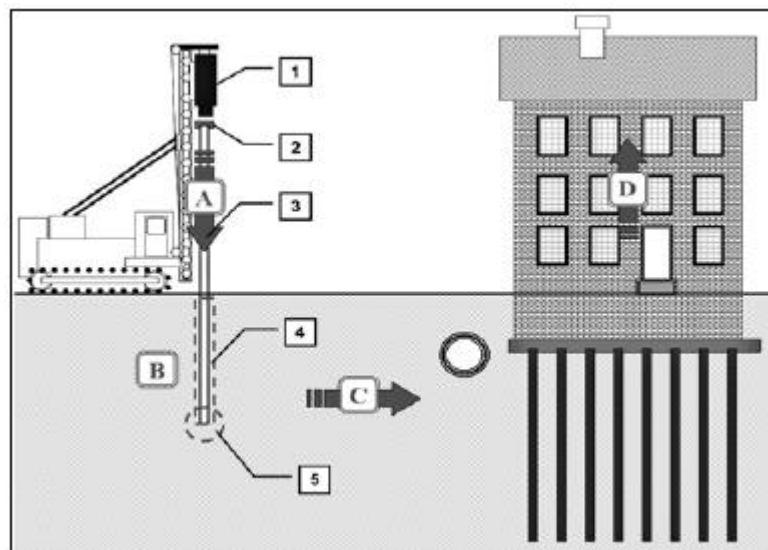
Dimana:

- x_p = Kedalaman penetrasi, *feet*
- P_a = Berat per luas area tumbukan, psf
- V = Kecepatan tumbukan (sama dengan $\sqrt{2gH_f}$), *feet per second*
- k = koefisien penetrasi dimana bernilai; 0.0367 untuk tanah berpasir, 0.0482 untuk tanah dengan vegetasi, dan 0.0732 untuk tanah halus

2.2.5 Getaran Tanah

Berbagai hal serta fenomena seperti ledakan, penanaman *pile*, gempa dan pemadatan dinamis dari tanah. Efek dinamis dari sumber sumber ini sangat memungkinkan untuk terjadinya permasalahan terkait getaran tanah pada struktur di sekitarnya. Beban dinamis yang diakibatkan oleh konstruksi memiliki variasi energi di frekuensi yang sangat luas serta mampu disalurkan oleh tanah seperti diilustrasikan pada Gambar 2.7.

Getaran tanah yang diakibatkan oleh penanaman pondasi pada tanah pasir jenuh longgar hingga keseragaman sedang dapat mengakibatkan pemadatan tanah dan struktur. Kaminetzky (1991) melaporkan adanya catatan kerusakan pada bangunan yang diakibatkan oleh penanaman pondasi dengan karakteristik tanah pasir jenuh seragam, sedangkan untuk tanah lempung, penanaman pondasi cenderung untuk mengakibatkan pemindahan tanah dibandingkan dengan getaran tanah.



Gambar 2.6 Alur penyaluran getaran tanah yang diakibatkan oleh penanaman pondasi

(sumber: K. Rainer Massarsch, 2007)

Terdapat 4 proses penyaluran getaran dari sumber hingga struktur yang ditinjau, terlebih dahulu energi yang diciptakan oleh *hammer* disalurkan ke pondasi (A), disalurkan ke tanah saat bagian dari pondasi menghantam tanah (B), tanah menyalurkan getaran yang dihasilkan dari tumbukan antara

tanah dan pondasi (C), respon dinamis terjadi pada objek yang ditinjau (diilustrasikan oleh gedung) akibat getaran yang disalurkan oleh tanah (D) (K. Rainer Massarsch, 2007).

2.2.5.1 Peak Particle Velocity

Untuk memperhitungkan getaran tanah yang terjadi, terdapat beberapa persamaan empiris berbeda yang dapat digunakan, salah satunya adalah dengan mengidentifikasi *peak particle velocity*. Pada awalnya perhitungan *peak particle velocity* digunakan untuk menghitung getaran tanah yang diakibatkan oleh ledakan, lalu Wiss (1981) memperkenalkan perhitungan *peak particle velocity* untuk menghitung getaran tanah yang diakibatkan oleh sumber suber konstruksi seperti penanaman pondasi dengan konsep kerja sebagai Gambar 2.7, *peak particle velocity* dapat di hitung dengan persamaan berikut.

$$v = k \left[\frac{\sqrt{W_t}}{D} \right]^{-n} \quad (2-6)$$

Dimana:

PPV : Peak Particle Velocity (mm/s)

k : Konstanta konduktivitas hidrolik tanah ($\text{m}^2/\text{sJ}^{0.5}$)

W_t : Input energi. Dalam hal ini adalah energi hammer (J)

D : Jarak radial antara pile dan titik monitor (m)

n : Index empiris

Nilai n dan k dapat dipresentasikan pada Tabel 2.5 yang diambil dari beberapa literatur.

Tabel 2.4 Nilai konstanta untuk persamaan 2-6

Literature	Parameters		Velocity component
	<i>n</i>	<i>k</i>	
Attewell & Farmer (1973)	1	1.5	Vertical <i>PPV</i>
Whyley & Sarsby (1992)	1	0.25 (soft or loose soil) 0.75 (stiff or medium dense soil) 1.5 (stiff or dense soil)	
Attewell et al. (1992a)	0.87	0.76	Vertical <i>PPV</i>
Hiller & Crabb (1998)		3 (stiff or medium dense soil)	
Head & Jardine (1992)	1 1.54*	1,5 (for $r > 0.5$ m) 0.2*	<i>SRSS</i>
BSI (1992a)	1	0.75	
CEN (1998)	1	0.5 (soft cohesive soil) 0.75 (stiff cohesive soil) 1.0 (very stiff cohesive soil)	
ArcelorMittal (2008)	1	Impact driving 0.5 (soft cohesive soil, loose granular media, loose fill and organic soils) 0.75 (stiff cohesive soils, medium dense granular media, compact fill) 1.0 (very stiff cohesive soil, dense granular media, rock, fill with large obstructions) Vibratory driving 0.7 (all soil conditions)	

*At the base of the foundation

Dengan persamaan skala tradisional seperti pada persamaan (2-6) dibutuhkan informasi mengenai harga kecepatan terhadap jarak dari sumber getaran untuk menghitung redaman getaran tanah. Kecepatan awal pada umumnya tidak dapat diketahui, pada saat bersamaan *peak particle velocity* dari getaran pipa tidak dapat dikalkulasi saat pondasi diinstall. Hal tersebut menuntun terciptanya persamaan baru menggunakan hubungan antara skala jarak dengan kecepatan tanah (K. Rainer Massarsch, 2007) seperti pada persamaan berikut

$$V_g = V_p \frac{\sqrt{Wt}}{D} \quad (2-7)$$

Dimana:

V_p = *peak particle velocity* pondasi

V_g = *peak particle velocity* tanah

Sedangkan nilai V_p dapat diformulasikan sebagai berikut

$$V_p = \sqrt{2 \frac{c}{ZL}} W_t \quad (2-8)$$

Dimana:

c = Kecepatan perambatan pada pondasi

Z = Redaman pondasi = $Z = ES/c$

- E = Modulus Elastisitas dari material pondasi
 S = *Cross-sectional area* pondasi
 L = Panjang struktur pondasi

Sehingga substitusi persamaan (2-7) dan (2-8) dapat diformulasikan sebagai berikut

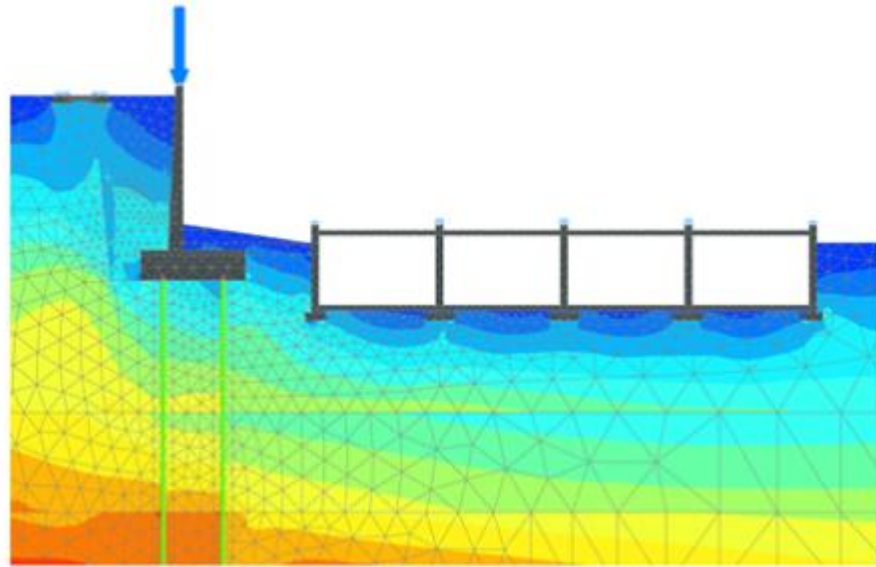
$$V_g = 1.41 \frac{w_t}{D} \sqrt{\frac{c}{ZL}} \quad (2-9)$$

Persamaan (2-9) dapat membantu menghitung PPV dari getaran tanah sejak dimulainya kegiatan penanaman pondasi. Harga yang masuk akal untuk kecepatan pondasi untuk material baja, konkrit, dan kayu adalah 4.6 hingga 2.4; 2.4 hingga 0.9; dan 4.6 hingga 1.5 m/s secara berurutan (K. Rainer Massarsch, 2007).

2.2.6 Program Bantu

2.2.6.1 Plaxis 2D

Untuk membantu analisis digunakan program Plaxis yang merupakan program analisis geoteknik. Program Plaxis secara umum terbagi menjadi dua, yaitu Plaxis 2D dan Plaxis 3D, sebagai program analisis geoteknik, Plaxis dapat digunakan di berbagai bidang baik perminyakan, pertambangan, dan juga teknik sipil. Plaxis dapat diaplikasikan untuk analisis geoteknik pada *embarkment*, *tunneling*, pondasi *offshore wind turbine*, dan *excavation*. Plaxis juga menawarkan beberapa konten, seperti deformasi tanah, simulasi pergeseran tanah, dan perhitungan getaran tanah. Subjek yang diteliti bervariasi dimulai dengan terowongan, bangunan bertingkat, *retaining wall*, hingga pipa tertanam. User interface serta hasil analisis menggunakan Plaxis dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Ilustrasi analisis menggunakan software Plaxis 3D pada kasus embarkment
(*sumber : Plaxis Web site*)

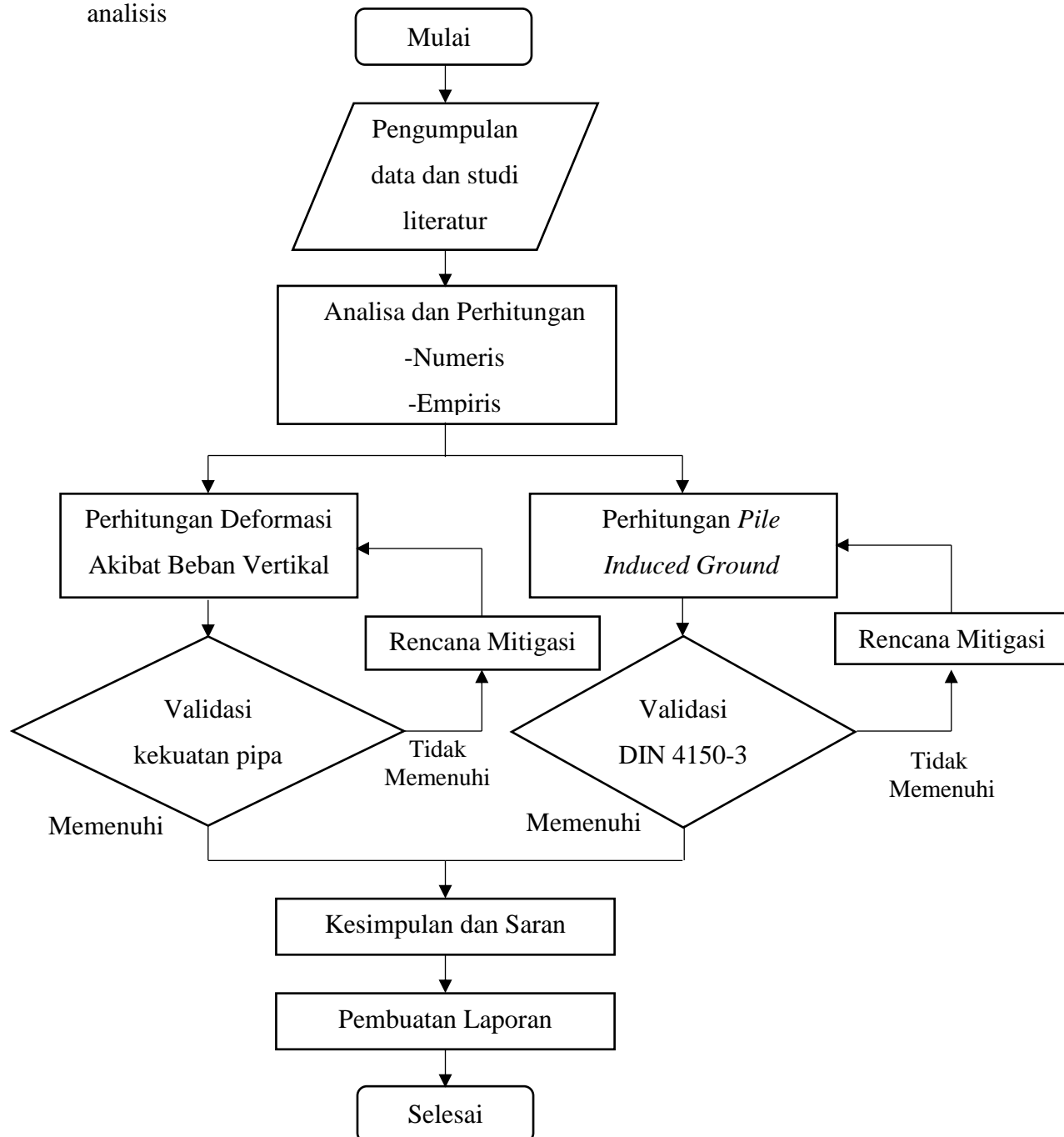
(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut metodologi pada Analisis Geoteknik diagram alir pada analisis



Gambar 3.1 Diagram Alur

3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan flowchart pada diagram pada Gambar 3.1, dijelaskan mengenai alur dalam pengerjaan analisis ini sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Berdasarkan judul tugas akhir, pengumpulan data dilakukan dengan memilah serta mempelajari data sekunder di dapat sehingga dapat ditentukan data yang digunakan dalam analisis, sedangkan studi literatur meliputi studi beberapa literatur dibawah ini:

- a. Studi mengenai *Pile Induced Ground Vibration* serta pengaruhnya terhadap fasilitas tertanam.
- b. Studi mengenai beban vertikal pada tanah serta pengaruhnya terhadap fasilitas tertanam.
- c. Studi mengenai *codes and standards* pada pipa *onshore* baik untuk studi *Pile Induced Ground Vibration* menggunakan DIN 4150-3 maupun beban vertikal pada tanah.

2. Analisa dan Perhitungan

Setelah data yang digunakan untuk analisis terkumpul, maka dilakukan langkah langkah analisis *Pile Induced Ground Vibration* sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi tiga parameter yang digunakan untuk menganalisis getaran menggunakan metode *Peak Particle Velocity*.
- b. Mengidentifikasi harga konstanta konstanta yang digunakan untuk menganalisis getaran menggunakan metode *Peak Particle Velocity*.
- c. Melakukan perhitungan menggunakan metode *Peak Particle Velocity* hingga menghasilkan harga getaran.
- d. Melakukan *modelling* menggunakan software Plaxis 2D
- e. Melakukan validasi harga getaran yang dihasilkan terhadap *codes and standards* DIN 4150-3.

Sedangkan untuk langkah langkah analisis beban vertikal sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi jenis tanah yang diambil pada lokasi pipa tertanam.
- b. Mengidentifikasi sumber beban untuk menganalisis harga beban yang digunakan untuk analisis
- c. Melakukan perhitungan hingga menghasilkan tekanan yang disalurkan oleh tanah kepada pipa, serta untuk kasus jatuhnya material konstruksi juga memperhitungkan kedalaman penetrasi benda yang jatuh pada tanah.
- d. Melakukan *modelling* menggunakan software Plaxis 2D
- e. Melakukan validasi harga terkanan yang dihasilkan terhadap kekuatan pipa, serta kedalaman penetrasi material yang jatuh tidak mencapai kedalaman tanam pipa.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

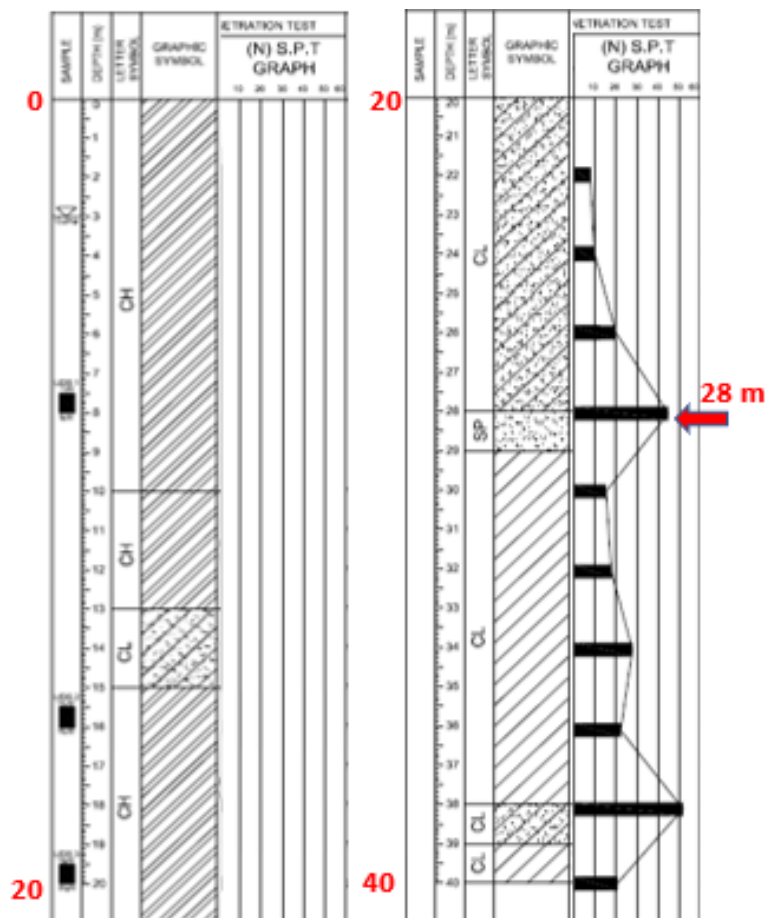
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Model Struktur Tanah

4.1.1 Konversi Data Tanah

Untuk melakukan analisis pengaruh pekerjaan pembangunan *flyover* teluk lamong terhadap pipa gas, perlu dilakukan permodelan menggunakan perangkat lunak. Untuk analisis ini dipilih perangkat lunak PLAXIS 2D sebagai program analisis, proses pembuatan model dilakukan menurut data tanah yang didapat dari lapangan seperti Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Data Tanah

Data *Standard Penetration Test* (SPT) diatas harus dirubah terlebih dahulu untuk memenuhi parameter parameter yang digunakan pada perangkat lunak PLAXIS 2D, dengan menggunakan program *SPT corellation* data SPT dapat dirubah menjadi parameter parameter tanah yang dapat

digunakan pada perhitungan manual maupun pada pengoperasian perangkat lunak PLAXIS 2D.

Merubah data SPT menjadi parameter parameter tanah dapat dilakukan dengan menggunakan program bantu sekunder *SPT Corellation* yang didasarkan oleh J. E. Bowles (1984) .Dari hasil program sekunder didapatkan harga parameter parameter tanah primer per jenis tanah menurut data tanah pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.2 sebagai berikut

Tabel 4.1 Harga parameter tanah CH kedalaman 0-13 dan 15-20

Parameter	Harga	Satuan
Poisson's Ratio (ν)	1,514E+04	kN/m ²
Modulus Young (E)	0,31	
Kohesi (c)	2,00	kN/m ²
Sudut Geser (ϕ)	24,00	°
Sudut Dilatansi (Ψ)	0,00	°

Tabel 4.2 Harga parameter tanah CL kedalaman 0-13 dan 15-20

Parameter	Harga	Satuan
Poisson's Ratio (ν)	1,601E+04	kN/m ²
Modulus Young (E)	0,34	-
Kohesi (c)	2,14	kN/m ²
Sudut Geser (ϕ)	28,00	°
Sudut Dilatansi (Ψ)	0,00	°

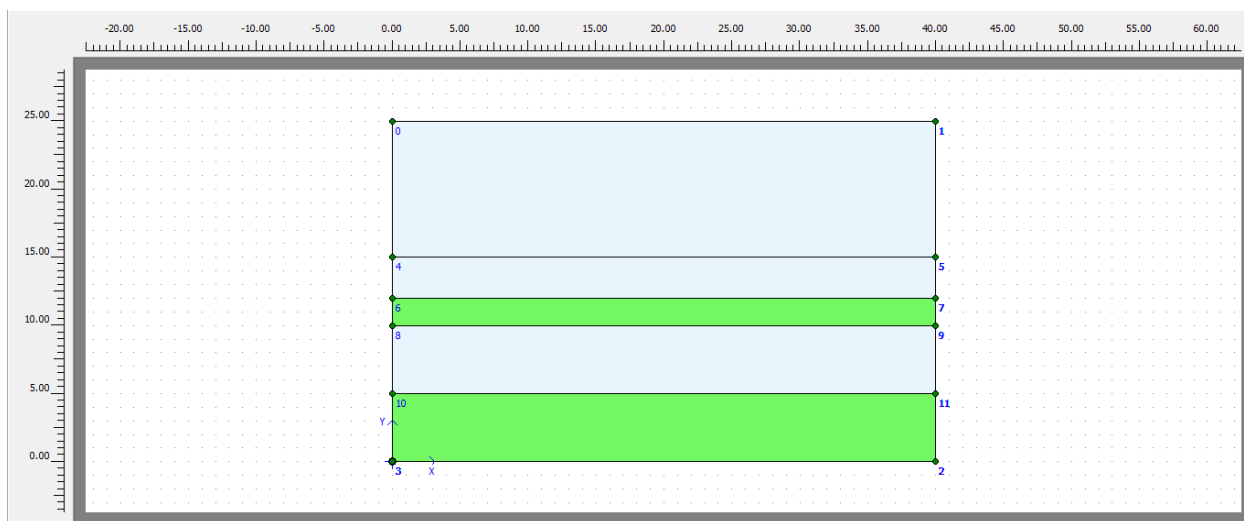
Dikarenakan dalam permodelan tanah hanya digunakan dua jenis tanah sehingga hanya parameter tanah yang digunakan untuk analisis yang akan dirubah menjadi parameter parameter diatas. Setelah parameter tanah diketahui, analisis dapat dilanjutkan dengan pembuatan model struktur tanah.

4.1.2 Permodelan Numerik Struktur Tanah

Permodelan menggunakan program PLAXIS 2D dibuat semirip mungkin dengan kondisi di lapangan, untuk itu dari total data tanah dengan kedalaman 40m digunakan data tanah dengan kedalaman 25m untuk melakukan analisis terhadap pipa gas dengan kedalaman 1m dari permukaan tanah. Pada permodelan menggunakan PLAXIS 2D luas dimensi geometri dapat disepakati seperti pada Tabel 4.3 dengan ilustrasi permodelan struktur tanah pada program PLAXIS 2D seperti pada Gambar 4.1

Tabel 4.3 Dimensi model pada program PLAXIS 2D

Sumbu	Dimensi
X	20 meter
Y	40 meter



Gambar 4.2 Ilustrasi model struktur tanah pada program PLAXIS 2D

Pada model PLAXIS 2D diatas tanah CH ditandai dengan warna biru muda sedangkan CL ditandai dengan warna hijau.

4.1.3 Sensitifitas *Mesh*

Untuk mendapatkan hasil yang akurat dan konsisten dengan pendekatan elemen hingga perlu adanya pengaturan jumlah elemen yang digunakan. Jumlah elemen yang digunakan dapat di atur menggunakan pilihan *meshing* pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Mengacu pada panduan pengaplikasian

perangkat lunak PLAXIS 2D *meshing* dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, pada bagian dimana deformasi struktur tanah dan konsentrasi beban ditinjau, diperlukan akurasi yang lebih tinggi dan *mesh* yang lebih baik (*fine*). Pada perangkat lunak PLAXIS 2D secara garis besar terdapat lima pengaturan *meshing* yang dibuat otomatis oleh perangkat lunak yaitu *Very Coarse*, *Coarse*, *Medium*, *Fine*, dan *Very Fine*. Setiap pengaturan *mesh* oleh PLAXIS 2D terdapat jumlah elemen yang berbeda yang dimuat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perkiraan jumlah elemen per model menurut pengaturan mesh
(sumber : PLAXIS 8.4 Reference Manual)

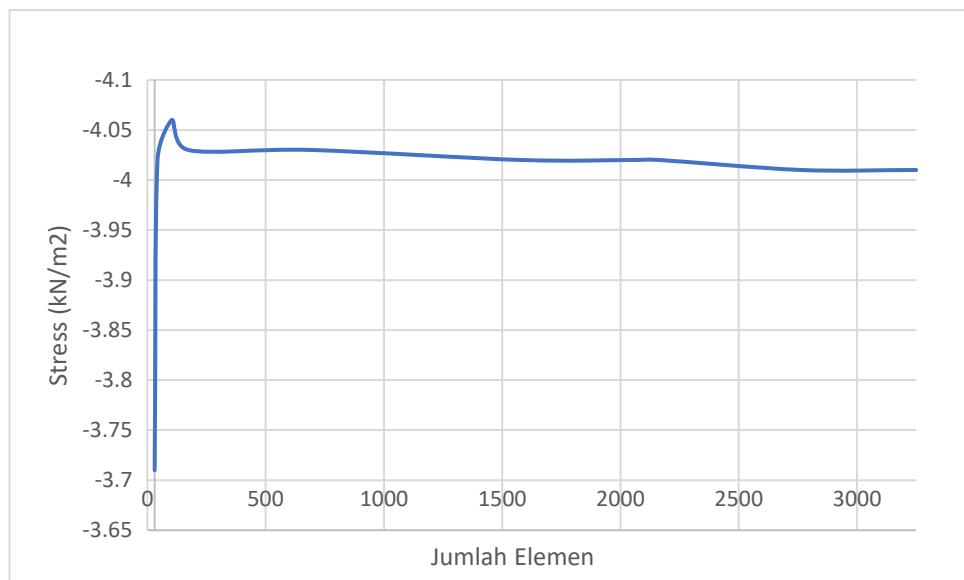
Pengaturan Mesh	Perkiraan Jumlah Elemen Per Model
Very Coarse	50
Coarse	100
Medium	250
Fine	500
Very Fine	1000

Untuk membentuk *meshing* yang lebih detail dapat menggunakan pilihan *refine mesh*, dimana opsi tersebut dapat memperkecil elemen baik secara keseluruhan maupun sebagian dari model. Untuk analisis ini dilakukan beberapa kali percobaan dengan jumlah elemen berbeda hingga hasil dari pengolahan perangkat lunak konstan, berikut hasil analisis sensitifitas *mesh* dimana ditinjau harga *extreme mean stress* dari setiap permodelan yang dimuat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hasil analisis *mesh sensitivity* berdasarkan jumlah elemen

Jumlah Elemen	Hasil (<i>extreme mean stress</i>)	Perubahan (%)
31	-3.71	
43	-4.02	8.4%
104	-4.06	1.0%
173	-4.03	-0.7%
694	-4.03	0.0%
1579	-4.02	-0.2%
2047	-4.02	0.0%
2164	-4.02	0.0%
2763	-4.01	-0.2%
3250	-4.01	0.0%

Untuk mempermudah analisis maka Tabel 4.5 disajikan dalam bentuk grafik yang dimuat pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Hasil analisis *mesh sensitivity* berdasarkan jumlah elemen

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.3 bahwa hasil mesh tidak berubah dengan persentase lebih dari 1% untuk hasil dengan jumlah elemen lebih dari 173, maka dari itu untuk menemukan *mesh* yang cocok digunakan model dengan jumlah elemen lebih dari 173.

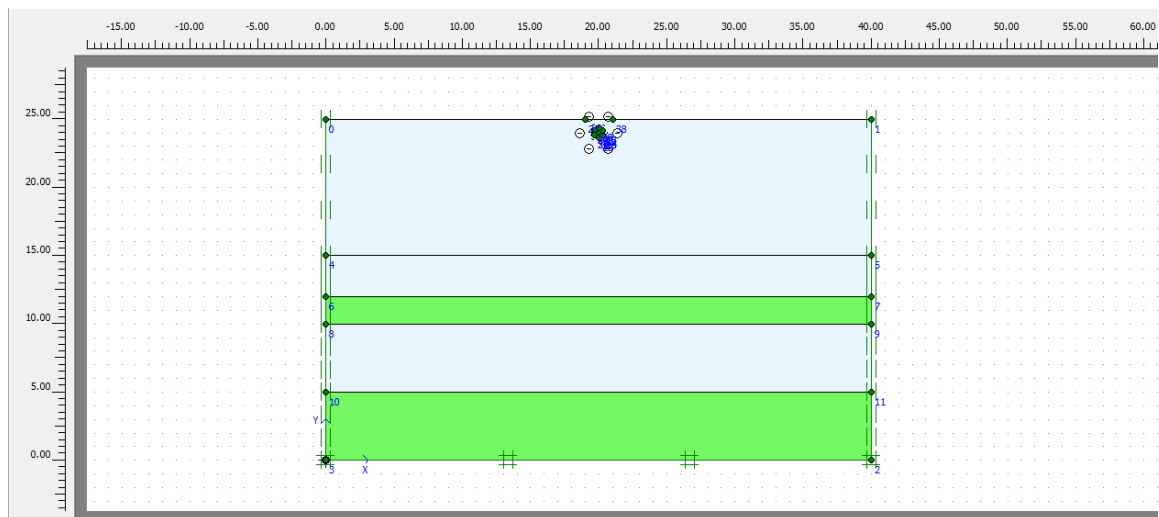
4.2 Model Struktur Pipa

Untuk melakukan analisis response tanah dan pengaruhnya terhadap pipa gas perlu adanya permodelan pipa gas yang sesuai dengan data struktur pipa gas API 5L X65 dengan data pipa gas dimuat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Spesifikasi pipa gas

Jenis Pipa	API 5L X65
<i>Wall Thickness</i>	0,5 inch
Diameter	28 inch
Tekanan Operasi	500 – 550 Psi
Yield Strength	65 Psi
Tensile Strength	77 Psi
Yield to Tensile Ratio	0,93
Elongation	18 %

Menggunakan data pipa pada Tabel 4.6 dapat dimodelkan pipa dengan kedalaman 1 m dari permukaan tanah dengan program PLAXIS 2D sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Model struktur tanah dan pipa pada program PLAXIS 2D

4.3 Permodelan Gaya Eksternal

Untuk memodelkan beban yang diakibatkan oleh gaya-gaya eksternal perlu adanya tinjauan mengenai permodelan beban eksternal agar didapatkan response tanah yang diinginkan.

4.3.1 Beban Vertikal

4.3.1.1 Beban Kendaraan

Beban yang diakibatkan oleh kendaraan yang melintas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-3) dengan mengaplikasikan berat kendaraan yang bervariasi dari 30000 lb (15 ton) hingga 10000 lb (5 ton) dengan parameter berat *pile driving vehicle* berharga 15000 lb (7.5 ton), perhitungan berat kendaraan terhadap pipa gas dapat dimodelkan dengan berat terpusat yang memiliki jarak offset beban di permukaan tanah dengan titik pusat pipa gas, iterasi jarak offset yang menghasilkan tekanan tertinggi pada pipa dengan asumsi harga tekanan permukaan dan kedalaman pipa yang sama dimuat pada Tabel 4.7, dan hasil iterasi pada Tabel 4.8 dijadikan sebagai parameter untuk perhitungan tekanan akibat beban kendaraan.

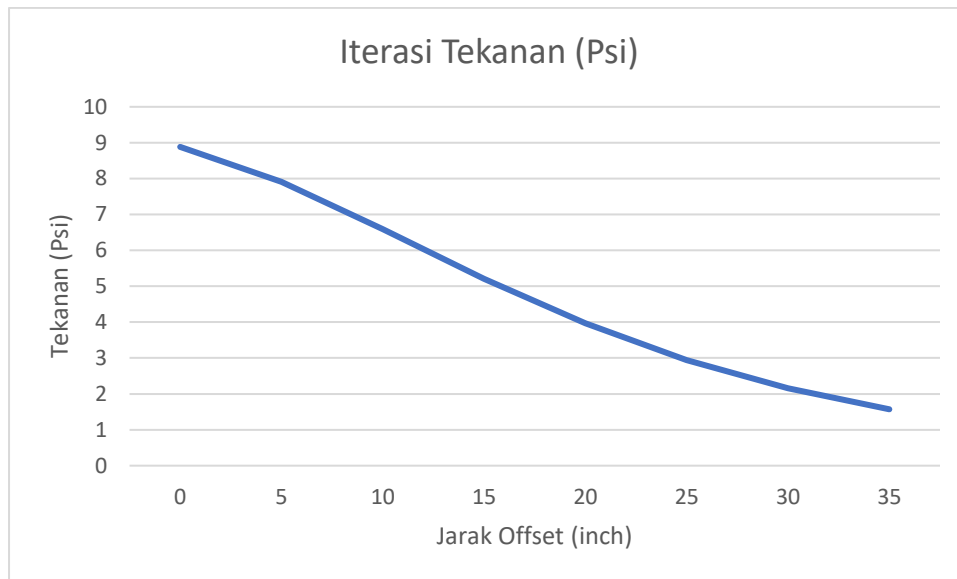
Tabel 4.7 Asumsi parameter pada iterasi *offset*

Berat Pada Permukaan (lb)	Berat Pada Permukaan (Ton)	Kedalaman (inch)
30000	15	39,37

Tabel 4.8 Hasil iterasi peak pressure pada penentuan *offset*

Offset (inch)	Peak Pressure(Psi)
0	9,24
5	8,88
10	7,90
15	6,58
20	5,20
25	3,96
30	2,94
35	2,15
40	1,57

Sehingga dapat di plot hasil tekanan dengan variasi *offset* pada Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik hasil iterasi peak pressure untuk menentukan *offset*

Diketahui dari grafik pada Gambar 4.5 bahwa *offset* yang menghasilkan tekanan pada pipa tertinggi berada di harga *offset* 0, sehingga *offset* 0 yang digunakan dalam perhitungan. Setelah mendapatkan *offset* yang dengan tekanan maksimal, maka dapat dihitung beban kendaraan. Berdasarkan *Gross Vehicle Weight Rating (GVWR)* yang dikeluarkan oleh *Federal Highway Administration (FHWA)* dari Amerika, kendaraan dibagi menjadi 8 kelas berbeda berdasarkan berat kendaraan dan daya angkut dari kendaraan tersebut seperti yang dimuat pada Tabel 4.9 dibawah ini, untuk mempermudah mengilustrasikan diberikan pula contoh kendaraan pada masing masing kelas.

Tabel 4.9 Pembagian *Gross Vehicle Weight Rating (GVWR)* yang dikeluarkan oleh *Federal Highway Administration (FHWA)*

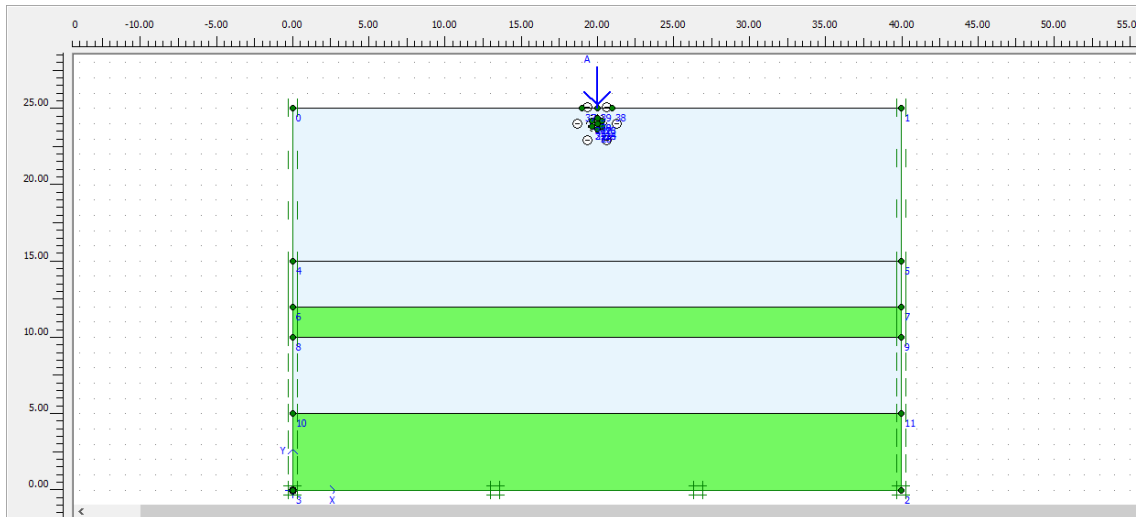
Class 1	<i>Sedan - SUV</i>
Class 2	<i>Utility Van</i>
Class 3	<i>Mini Bus</i>
Class 4	<i>Step Van</i>
Class 5	<i>Bucket Truck</i>
Class 6	<i>School Bus</i>
Class 7	<i>City Bus</i>
Class 8	<i>Refuse Truck</i>

Berat yang dimodelkan diasumsikan sebagai berat total kendaraan dibagi menjadi 8 berdasarkan jumlah roda pada kendaraan (*FHWA*) untuk kelas 8 hingga kelas 5 dan 4 roda untuk kelas 4 kebawah seperti yang dimuat pada Tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Beban kendaraan per roda

Kendaraan	Berat Kendaraan		Berat Per Roda Kendaraan (lb)	Berat Per Roda Kendaraan (ton)
	Berat (ton)	Berat (lb)		
Class 8	15	30000	3750	1,87
	14,5	29000	3625	1,81
	14	28000	3500	1,75
	13,50	27000	3375	1,68
Class 7	13	26000	3250	1,62
	12,50	25000	3125	1,56
	12	24000	3000	1,50
	11,50	23000	2875	1,43
	11	22000	2750	1,37
	10,50	21000	2625	1,31
	10	20000	2500	1,25
Class 6	9,50	19000	2375	1,18
	9	18000	2250	1,12
	8,50	17000	2125	1,06
Class 5	8	16000	2000	1,00
	7,50	15000	1875	0,93
Class 4	7	14000	1750	0,87
	6,50	13000	1625	0,81
	6	12000	1500	0,75
	5,50	11000	1375	0,68
Class 3	5	10000	1250	0,62
Class 1-2	0,50	1000	125	0,06

Untuk mensimulasikan beban terpusat, dimodelkan beban kendaraan terpusat dengan offset 0 m dari pusat lingkaran pada program PLAXIS 2D seperti pada Gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Model pembebanan terpusat akibat berat kendaraan

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat tanda panah berwarna biru gelap menandakan beban terpusat pada model tanah untuk mensimulasikan beban akibat kendaraan.

4.3.1.2 Beban Tumbukan

Beban tumbukan pada tanah akibat jatuhnya bahan konstruksi pada analisis ini diasumsikan sebagai girder, spesifikasi girder dan parameter tanah yang digunakan pada persamaan (2-4) dimuat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Spesifikasi girder dan parameter tanah

Berat Girder (lbf)	170800
Diameter Penampang/ ro (inch)	18,68
Luas penampang (inch²)	1096,26
Diameter Penampang/ ro (m)	0,47
Luas penampang (m²)	0,70
Poisson Ratio / v	0.30
Soil Shear Modulus / G (Psi)	836,75

Menurut rencana pembangunan, ketinggian *flyover* yang akan dibangun adalah ± 5 meter dari permukaan tanah, sehingga pada analisa ini ketinggian jatuh girder divariasikan dari ketinggian 1 meter hingga 10 meter diatas permukaan tanah sehingga dapat dihitung kecepatan jatuh girder dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (4.1)$$

Dimana:

v = Kecepatan jatuh (m/s)

g = Gravitasi (m/s^2) = 9.8 m/s^2

h = Ketinggian jatuh (m)

Sehingga ditemukan kecepatan jatuh girder saat menyentuh permukaan tanah adalah seperti yang tercantum pada Tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan kecepatan jatuh girder

Ketinggian Jatuh / Hf (m)	Kecepatan Jatuh (m/s)
1	4,42
1,50	5,42
2	6,26
2,50	7,00
3	7,66
3,50	8,28
4	8,85
4,50	9,39
5	9,89
5,50	10,38
6	10,84
6,50	11,28
7	11,71
7,50	12,12
8	12,52
8,50	12,90
9	13,28
9,50	13,64
10	14,00



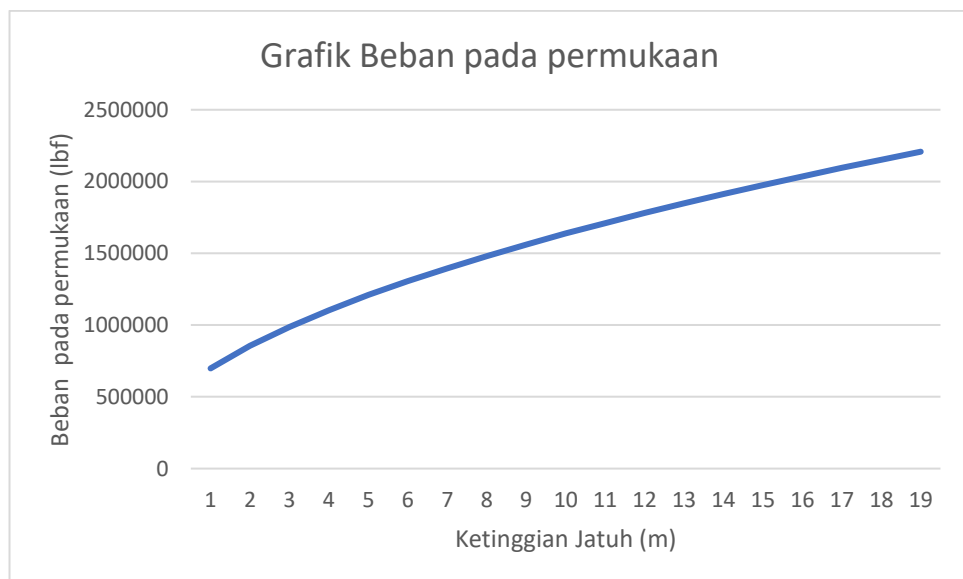
Gambar 4.7 Grafik perbandingan kecepatan jatuh dan ketinggian girder

Dari perhitungan di dapatkan nilai kecepatan jatuh pada ketinggian riil berharga. 9.899 m/s seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Sehingga dapat dibuat permodelan dengan menggunakan opsi *distributed load* dimana opsi tersebut dapat mensimulasikan beban, dengan menggunakan persamaan (2-4) hasil perhitungan berat persatuan luas dipermukaan tanah menurut ketinggian jatuh girder dengan nilai parameter $v = 0.3$ dan $G = 836.7577$ dan berat total sebesar 170800 lb dimuat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan beban girder menurut ketinggian

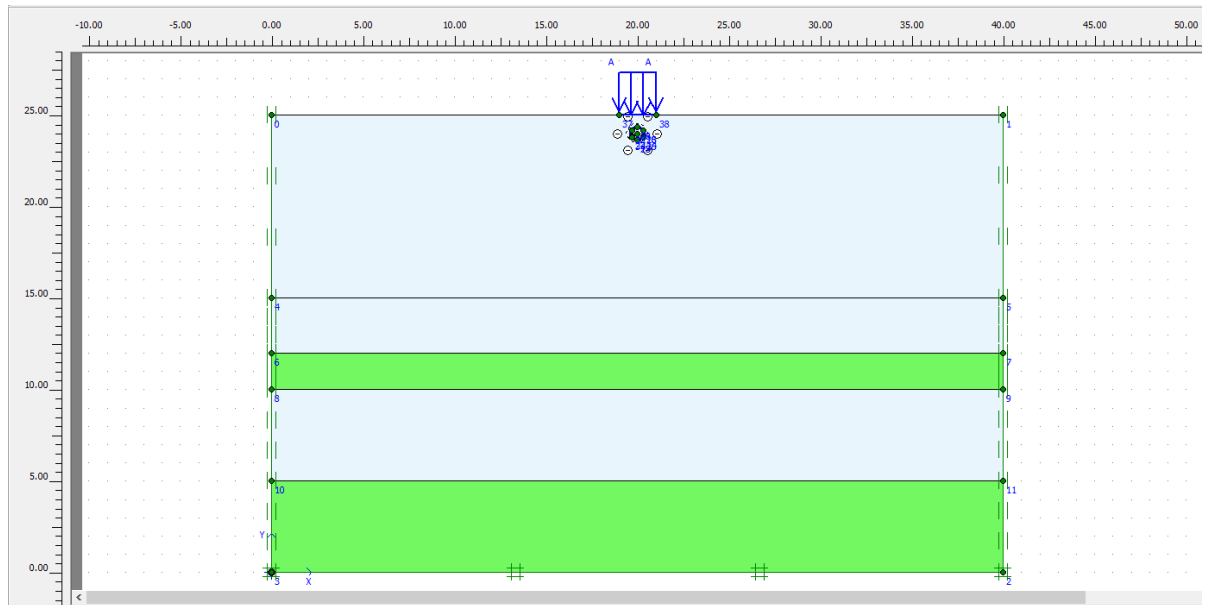
Ketinggian Jatuh / Hf (m)	Berat pada permukaan / P (lbf)	Beban pada permukaan / P (kN)
1	698184,04	349,09
1,50	855097,33	427,54
2	987381,35	493,69
2,50	1103925,91	551,96
3	1209290,24	604,64
3,50	1306182,75	653,09
4	1396368,10	698,18
4,50	1481072,02	740,53
5	1561186,99	780,59
5,50	1637386,73	818,69
6	1710194,66	855,09
6,50	1780027,04	890,01
7	1847221,36	923,61
7,50	1912055,76	956,02
8	1974762,70	987,38
8,50	2035538,80	1017,76
9	2094552,15	1047,27
9,50	2151947,76	1075,97
10	2207851,82	1103,92

Dan berikut grafik tekanan pada permukaan tanah akibat tumbukan menurut ketinggian jatuh girder seperti yang dimuat pada Gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4.8 Grafik perhitungan beban pada permukaan menurut ketinggian jatuh

Dari hasil perhitungan diatas dapat dimodelkan beban merata akibat tumbukan dengan model struktur tanah dan pipa seperti pada Gambar 4.9.

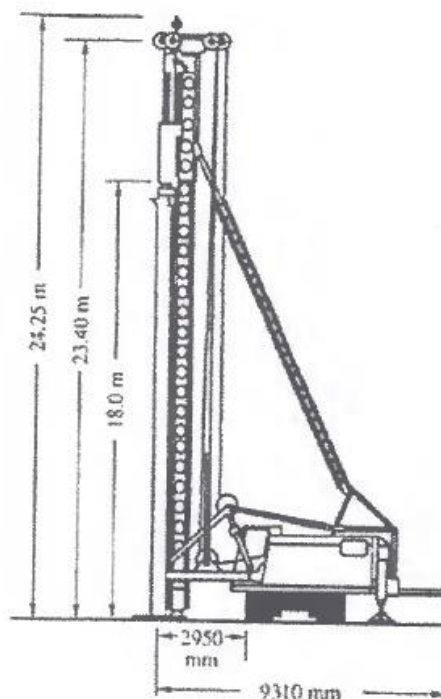


Gambar 4.9 Model pembebanan merata akibat beban tumbukan

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat tanda panah berwarna biru gelap menandakan beban merata pada model tanah untuk mensimulasikan beban akibat tumbukan.

4.3.2 Getaran Tanah

Getaran tanah yang diakibatkan pemancangan pondasi dapat membahayakan integritas pipa dapat disimulasikan beban yang dijatuhkan pada tanah. Pada analisis ini dimodelkan penanaman pondasi terdekat memiliki jarak 5 m dari pipa. Properti *pile driver* yang digunakan dalam kondisi riil diilustrasikan pada Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Ilustrasi *pile driver* dan ketinggian jatuh *hammer*

Pile driver yang akan disimulasikan memiliki berat 10 ton dan dorong menggunakan *hammer*, *hammer* dapat dapat dijatuhkan dengan tiga ketinggian berbeda yaitu 18 m, 23.4 m, dan 24.25 m yang nantinya akan memberikan energi yang berbeda tergantung dari ketinggian jatuh *hammer*. Menurut tiga *codes and standard* berbeda terdapat perbedaan jarak maksimal dari sumber getaran (*pile*) menuju ke fasilitas yang ditinjau, jarak maksimal dari sumber getaran dimuat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Jarak maksimal getaran menurut *codes and standards*

No	Sumber	Jarak maksimal sumber getaran (m)
1	FHWA Dynamic Compaction Report (Lukas 1995)	4
2	Eurocode 3 (CEN 1993)	5,6
3	German Standard DIN 4150-3 (DIN 1999)	6,5

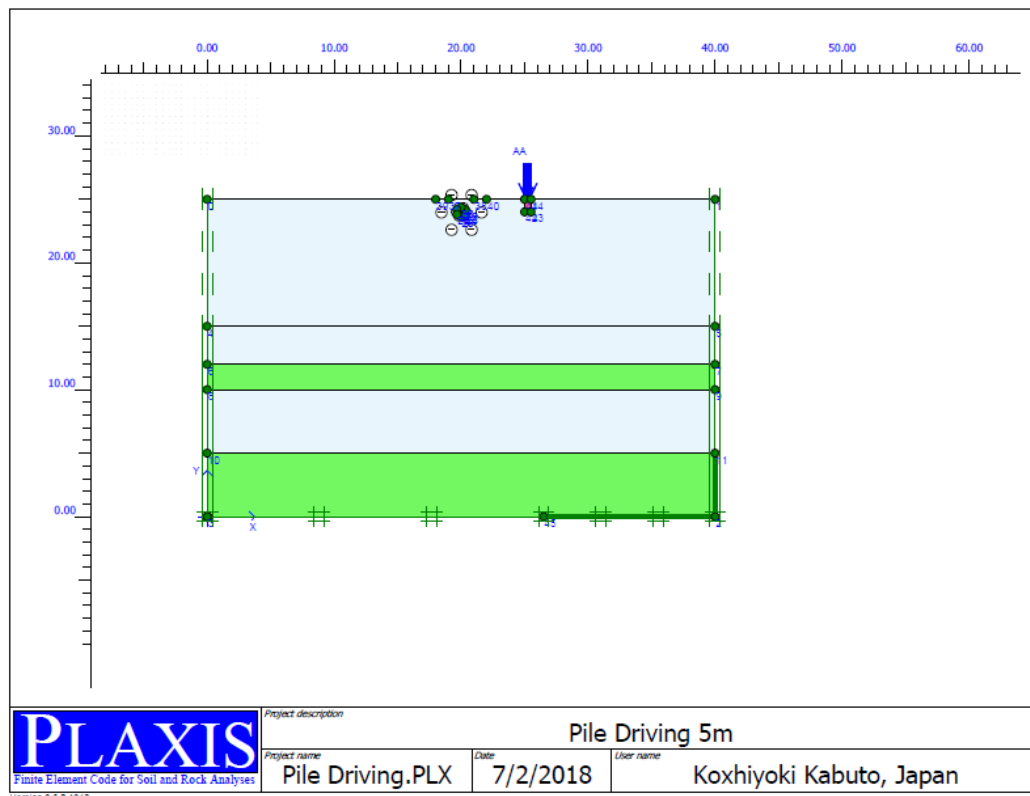
Untuk mensimulasikan kejadian di riil, jarak sumber getaran yang menuju ke fasilitas yang ditinjau yang digunakan adalah 5 m, sedangkan untuk

menghitung energi yang dihasilkan dari hammer dengan tiga ketinggian jatuh berbeda seperti dimuat pada Tabel 4.15 sebagai berikut.

Tabel 4.15 Energi yang dihasilkan oleh *hammer* dengan tiga ketinggian berbeda

Ketinggian Jatuh <i>Hammer</i> (m)	Energi (Joule)
18	1764000
230,40	2293200
24,25	2376500

Dari hasil perhitungan diatas dapat dimodelkan beban merata akibat penanaman pondasi dengan model struktur tanah dan pipa seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Permodelan getaran tanah akibat penanaman pile

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat tanda panah berwarna biru gelap menandakan beban untuk penanaman pondasi pada model tanah untuk mensimulasikan getaran akibat penanaman pondasi.

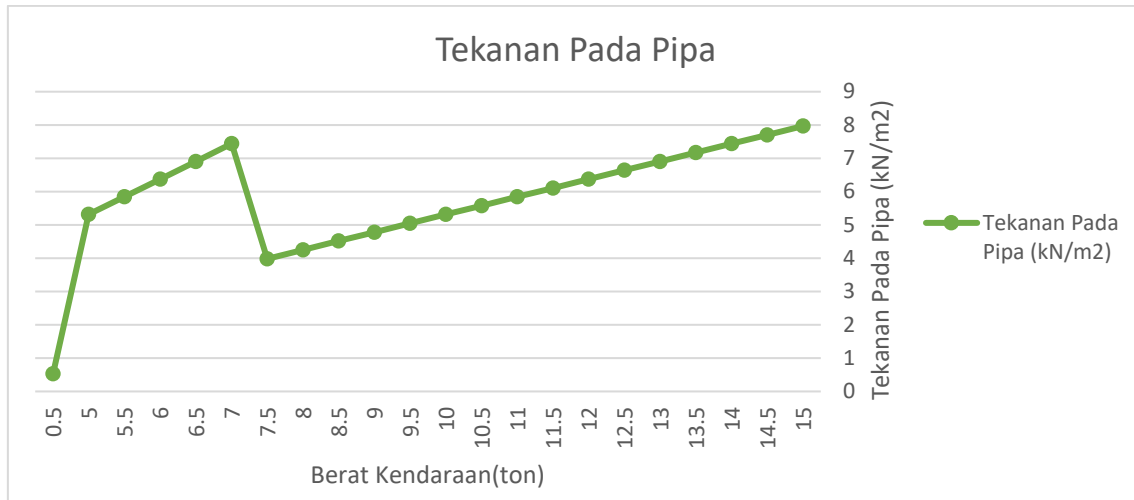
4.4 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Eksternal

4.4.1 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Kendaraan

Beban kendaraan yang aplikasikan pada tanah menghasilkan tekanan pada pipa dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3) dengan asumsi beban kendaraan per roda di modelkan dengan beban terpusat seperti pada Tabel 4.10, dapat dihasilkan beban pada pipa yang dimuat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.12.

Tabel 4.16 Hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan

Kelas Kendaraan	Berat Kendaraan		Tekanan Pada Pipa /Pp	
	Berat (ton)	Berat (lb)	Pp (Psi)	Pp (kN/m2)
Class 8	15	30000	1,15	7,96
	14,50	29000	1,11	7,70
	14	28000	1,07	7,43
	13,50	27000	1,04	7,17
Class 7	13	26000	1,00	6,90
	12,50	25000	0,96	6,64
	12	24000	0,92	6,37
	11,50	23000	0,88	6,10
	11	22000	0,84	5,84
	10,50	21000	0,80	5,57
	10	20000	0,77	5,31
Class 6	9,50	19000	0,73	5,04
	9	18000	0,69	4,78
	8,50	17000	0,65	4,51
Class 5	8	16000	0,61	4,24
	7,50	15000	0,57	3,98
Class 4	7	14000	1,07	7,43
	6,50	13000	1,00	6,90
	6	12000	0,92	6,37
	5,50	11000	0,84	5,84
Class 3	5	10000	0,77	5,31
Class 1-2	0,50	1000	0,07	0,53



Gambar 4.12 Grafik hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan

Dapat dilihat pada kendaraan dengan berat 7 ton kebawah terjadi fluktuasi akibat pembagian jumlah roda kendaraan yang awalnya berjumlah 8 menjadi 4, sehingga setiap roda menyalurkan berat kendaraan yang lebih tinggi.

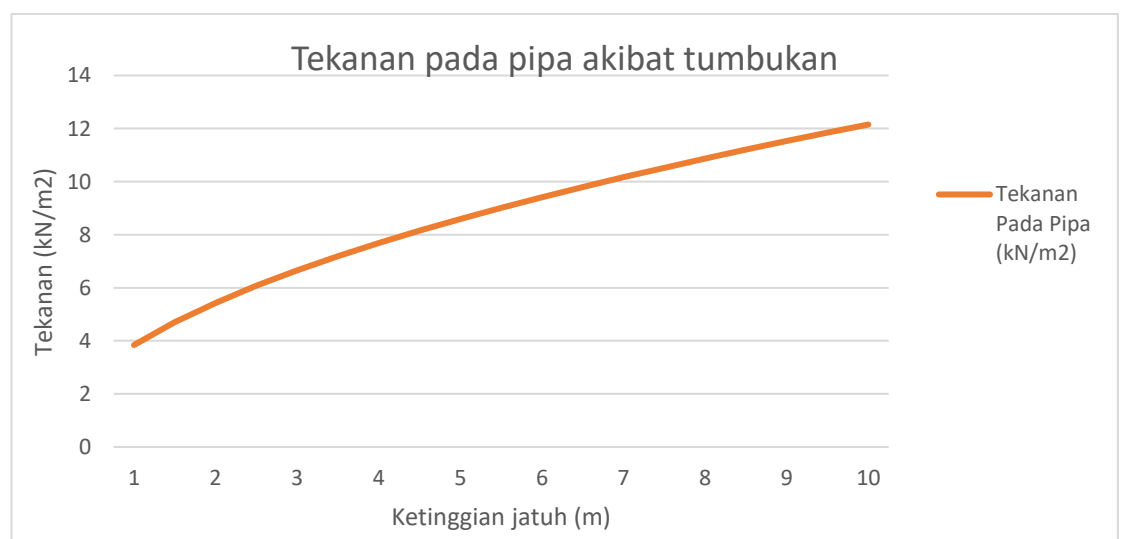
4.4.2 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Beban Tumbukan

Beban tumbukan yang aplikasikan pada permukaan tanah akan diteruskan oleh tanah hingga menghasilkan tekanan pada pipa yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3). Sebelum dapat dikalkulasi beban pada permukaan terlebih dahulu dirubah untuk memenuhi satuan parameter yang diminta oleh persamaan (2-3) dari kN menjadi Ton. Setelah itu dengan asumsi beban tumbukan pada permukaan tanah di modelkan dengan beban merata yang dimuat pada Tabel 4.17, parameter kedalaman $c = 38.370$ inch, dan jarak *offset* $d = 0$ m dari permukaan menuju ke pusat pipa, maka dapat dihasilkan beban pada pipa yang dimuat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil tekanan pada pipa akibat beban tumbukan

Ketinggian Jatuh / Hf (m)	Beban pada permukaan / P (kN)	Berat pada permukaan (ton)	Tekanan pada pipa	
			Psi	kN/m2
1	349,09	0,90	0,55	3,84
1,50	427,54	1,10	0,68	4,70
2	493,69	1,27	0,78	5,43
2,50	551,96	1,42	0,88	6,07
3	604,64	1,56	0,96	6,65
3,50	653,09	1,69	1,04	7,18
4	698,18	1,80	1,11	7,68
4,50	740,53	1,91	1,18	8,15
5	780,59	2,02	1,24	8,59
5,50	818,69	2,12	1,30	9,01
6	855,09	2,21	1,36	9,41
6,50	890,01	2,30	1,42	9,79
7	923,61	2,39	1,47	10,16
7,50	956,02	2,47	1,52	10,52
8	987,38	2,55	1,57	10,86
8,50	1017,76	2,63	1,62	11,20
9	1047,27	2,71	1,67	11,52
9,50	1075,97	2,78	1,71	11,84
10	1103,92	2,85	1,76	12,15

Setelah itu hasil tekanan pada pipa dapat diilustrasikan dalam grafik yang dimuat pada Gambar 4.13 sebagai berikut.



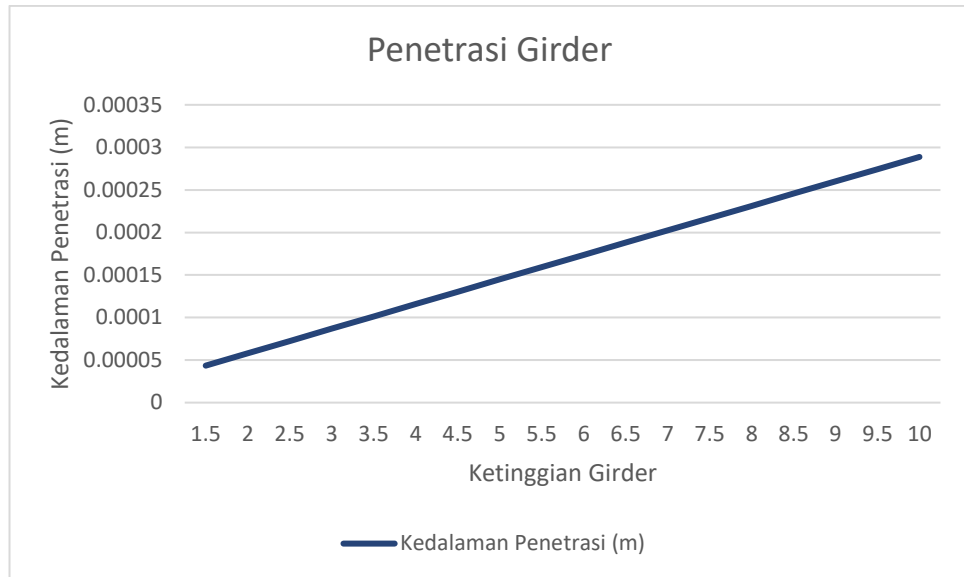
Gambar 4.13 Grafik tekanan pada pipa akibat beban tumbukan

Menurut Gambar 4.13 tekanan pada pipa tertinggi terjadi pada beban tumbukan dengan ketinggian 10 meter. Selain tekanan pada pipa perlu diketahui kedalaman penetrasi akibat beban tumbukan, untuk itu terlebih dahulu diketahui kecepatan jatuh dari girder, seperti yang disajikan pada Gambar 4.8 setelah itu dapat dihitung dalamnya penetrasi yang diakibatkan oleh tumbukan girder dengan persamaan (2-5) dengan hasil perhitungan dimuat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil penetrasi tanah akibat beban tumbukan

Ketinggian Jatuh / h		Kecepatan Jatuh / v		Dalam Penetrasi / xp	
Meter	Feet	Meter / sekon	Feet/sekon	Meter	Feet
1	3,28	4,42	14,52	2.9003E-05	9,54046E-05
1,50	4,93	5,42	17,78	4,34939E-05	0,00014
2	6,57	6,26	20,53	5,79776E-05	0,00019
2,50	8,22	7,00	22,90	7,24543E-05	0,00023
3	9,86	7,66	25,15	8,69239E-05	0,00028
3,50	11,51	8,28	27,16	0,000101386	0,00033
4	13,15	8,85	29,04	0,000115842	0,00038
4,50	14,80	9,39	30,80	0,00013029	0,00042
5	16,44	9,89	32,47	0,000144732	0,00047
5,50	18,09	10,38	34,05	0,000159166	0,00052
6	19,73	10,84	35,56	0,000173593	0,00057
6,50	21,38	11,28	37,02	0,000188013	0,00061
7	23,02	11,71	38,41	0,000202427	0,00066
7,50	24,67	12,12	39,76	0,000216833	0,00071
8	26,31	12,52	41,07	0,000231232	0,00076
8,50	27,96	12,90	42,33	0,000245624	0,00080
9	29,60	13,28	43,56	0,000260009	0,00085
9,50	31,25	13,64	44,75	0,000274387	0,00090
10	32,89	14,00	45,92	0,000288759	0,00094

Dan berikut grafik kedalaman penetrasi girder menurut ketinggian jatuh girdernya seperti yang dimuat pada Gambar 4.14 sebagai berikut.



Gambar 4. 14 Grafik kedalaman penetrasi girder di tanah menurut tinggi jatuh girder.

Dari Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa harga kedalaman penetrasi tanah akibat beban tumbukan tertinggi didapatkan pada ketinggian jatuh girder 10m dari permukaan tanah dengan harga 0,000288759 m

4.4.3 Perhitungan Analitis Response Tanah Akibat Getaran

Penanaman *pile* yang mengakibatkan getaran pada tanah dapat mengurangi integritas pipa, getaran dapat dihitung menggunakan persamaan (2-6) dengan asumsi penanaman pile terjadi dengan jarak 5 m dari pipa, *hammer* memiliki berat 10 ton dan memiliki tiga ketinggian jatuh berbeda yaitu 18 m, 23.4 m, dan 24.5 m sehingga memiliki energi berbeda setiap ketinggiannya. seperti yang dimuat pada Tabel 4.15. Dari situ dapat dihitung ppv yang terjadi pada pipa berdasarkan persamaan (2-6) dengan properti pile driver dan parameter parameter tanah sesuai dengan Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Spesifikasi *hammer*

Berat Pile	10 ton
3 Variasi Tinggi Jatuh Pile	
Feet	59,04
	76,752
	80,36

Meter	18
	23,4
	24,5
Soil Constant (k)	0,5
Index Number (n)	1

Dengan mengakumulasi ketiga perbedaan tinggi jatuh *hammer* maka hasil getaran tanah pada pipa yang dihasilkan dimuat pada Tabel 4.20 hingga Tabel 4.22 berdasarkan ketinggian jatuh *hammer* dan jarak titik penanaman *pile* sampai pipa.

Tabel 4.20 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh *hammer* 18 m

Jarak Penanaman ke Pipa (feet)	Jarak Penanaman ke Pipa (m)	PPV (mm/s)
3,28	1	94,08
6,56	2	47,04
9,84	3	31,36
13,12	4	23,52
16,40	5	18,81
19,68	6	15,68
22,96	7	13,44
26,24	8	11,76
29,52	9	10,45
32,80	10	9,40

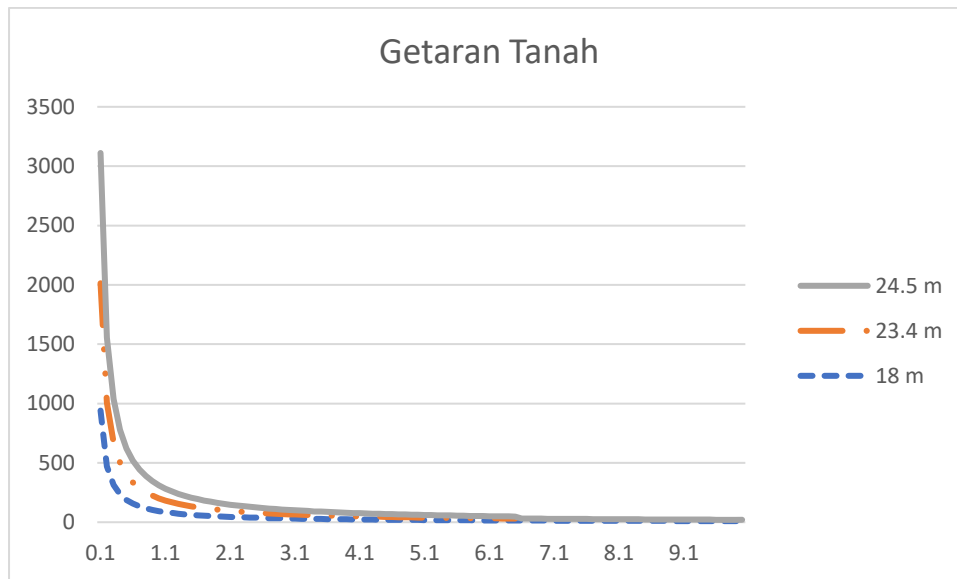
Tabel 4.21 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh *hammer* 23.4 m

Jarak Penanaman ke Pipa (feet)	Jarak Penanaman ke Pipa (m)	PPV (mm/s)
3,28	1	107,26
6,56	2	53,63
9,84	3	35,75
13,12	4	26,81
16,40	5	21,45
19,68	6	17,87
22,96	7	15,32
26,24	8	13,40
29,52	9	11,91
32,80	10	10,72

Tabel 4.22 Getaran pada pipa dengan ketinggian jatuh *hammer* 24.5 m

Jarak Penanaman ke Pipa (feet)	Jarak Penanaman ke Pipa (m)	PPV (mm/s)
3,28	1	109,76
6,56	2	54,88
9,84	3	36,58
13,12	4	27,44
16,40	5	21,95
19,68	6	17,99
22,96	7	15,68
26,24	8	13,72
29,52	9	12,19
32,80	10	10,97

Dengan perbandingan antara ketiga ketinggian dengan getaran yang dihasilkan dimuat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Getaran pada pipa dengan variasi ketinggian jatuh *hammer*

Dari Gambar 4.15 didapatkan harga getaran tanah tertinggi berada di ketinggian jatuh *pile hammer* 24m dari permukaan tanah.

4.5 Validasi Response Tanah

Untuk memastikan bahwa perangkat lunak PLAXIS 2D dapat digunakan untuk analisis, perlu dilakukan validasi menggunakan hasil perhitungan manual. Setelah dikalkulasi, hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D sesuai input model dan pembebanan yang telah dimuat pada sub bab 4.3. Permodelan Gaya Eksternal. Menurut panduan yang dikeluarkan oleh PLAXIS perbedaan hasil perangkat lunak yang dapat diterima tidak boleh melebihi 6% untuk konsolidasi tanah, sedangkan untuk getaran tanah disepakati perbedaan hasil perangkat lunak yang diterima tidak boleh melebihi 3%

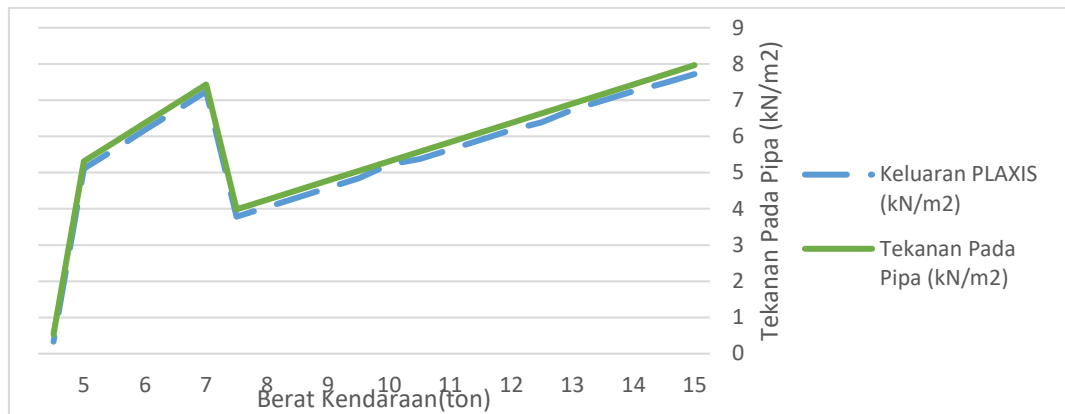
4.5.1 Validasi Response Tanah Akibat Beban Kendaraan

Simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D untuk mengetahui response tanah akibat beban kendaraan menggunakan model yang dimuat pada Gambar 4.6 dengan menggunakan pilihan *Plastic Analysis* atau analisis plastis pada perangkat lunak PLAXIS 2D lalu ditinjau harga dari *Total Stress* dari keluaran simulasi. Hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dimuat pada Tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4. 23 Hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D beban kendaraan

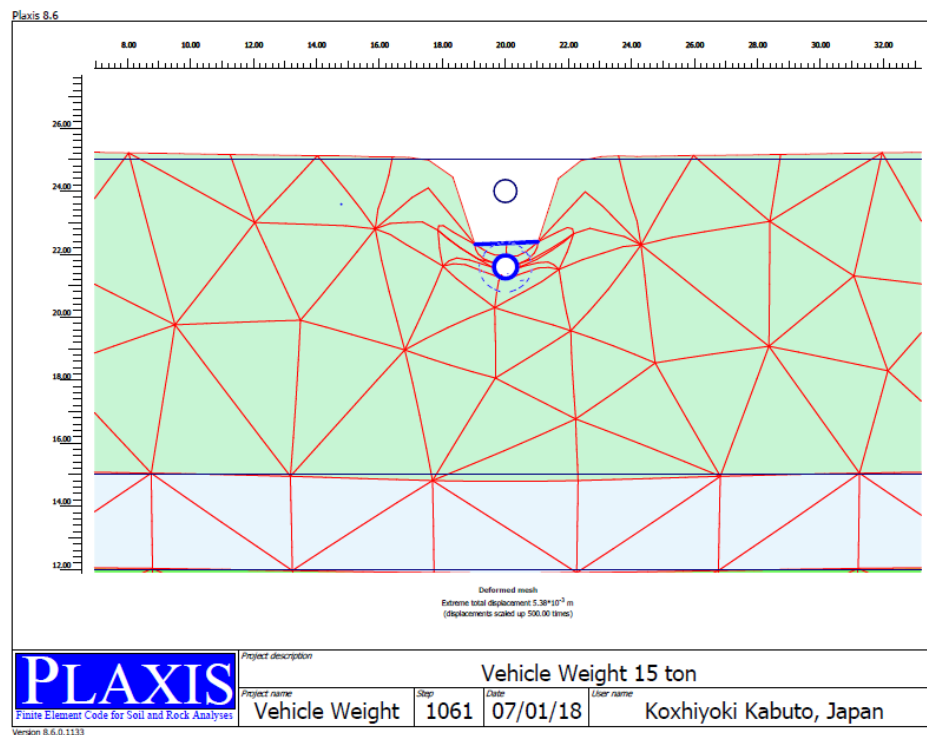
Berat Kendaraan		Beban Pada Pipa		Keluaran PLAXIS 2D (kN/m ²)	%error
Berat (ton)	Berat (lb)	Pp (Psi)	Pp (kN/m ²)		
15	30000	1,15	7,96	7,72	3%
14,50	29000	1,11	7,70	7,47	3%
14	28000	1,07	7,43	7,25	3%
13,50	27000	1,04	7,17	6,99	3%
13	26000	1,01	6,90	6,74	2%
12,50	25000	0,96	6,64	6,39	4%
12	24000	0,92	6,37	6,17	3%
11,50	23000	0,88	6,10	5,91	3%
11	22000	0,84	5,84	5,64	3%
10,50	21000	0,80	5,57	5,38	4%
10	20000	0,77	5,31	5,22	2%
9,50	19000	0,73	5,04	4,85	4%
9	18000	0,69	4,78	4,58	4%
8,50	17000	0,65	4,51	4,32	4%
8	16000	0,61	4,24	4,05	5%
7,50	15000	0,57	3,98	3,78	5%
7	14000	1,07	7,43	7,24	3%
6,50	13000	1,01	6,90	6,71	3%
6	12000	0,92	6,37	6,17	3%
5,50	11000	0,84	5,84	5,64	3%
5	10000	0,77	5,31	5,11	4%
0,50	1000	0,07	0,53	0,48	10%

Pada kendaraan dengan berat 0.5 ton terjadi error yang melebihi batas toleransi 6%, hal tersebut terjadi karena proses *mesh* dari model yang kurang sesuai dengan beban kecil sehingga model menjadi kurang sensitif terhadap beban kecil. Setelah ditemukan persen error maka di dapat di plot hasil keluaran perangkat lunak PLAXIS 2D dengan perhitungan manual yang dimuat pada Gambar 4.16 dibawah ini.

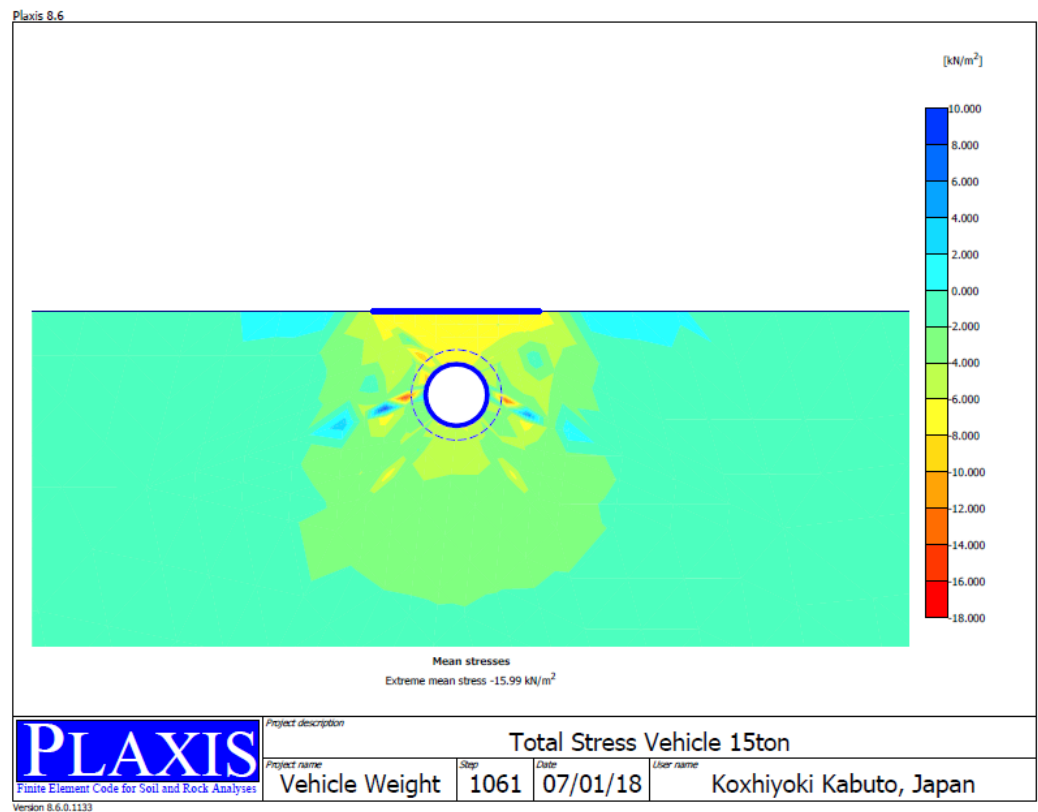


Gambar 4. 16 Grafik perbandingan hasil hitungan manual beban kendaraan

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa harga tekanan tertinggi didapat dari kendaraan dengan berat 15 ton dan menurun seiring dengan turunnya harga berat kendaraan serta mengalami kenaikan pada kendaraan dengan berat 7 ton diakibatkan karena pembagian berat per roda. Dengan begitu dapat diilustrasi hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dengan input beban kendaraan 15 ton seperti yang dimuat pada Gambar 4.17 dan 4.18.

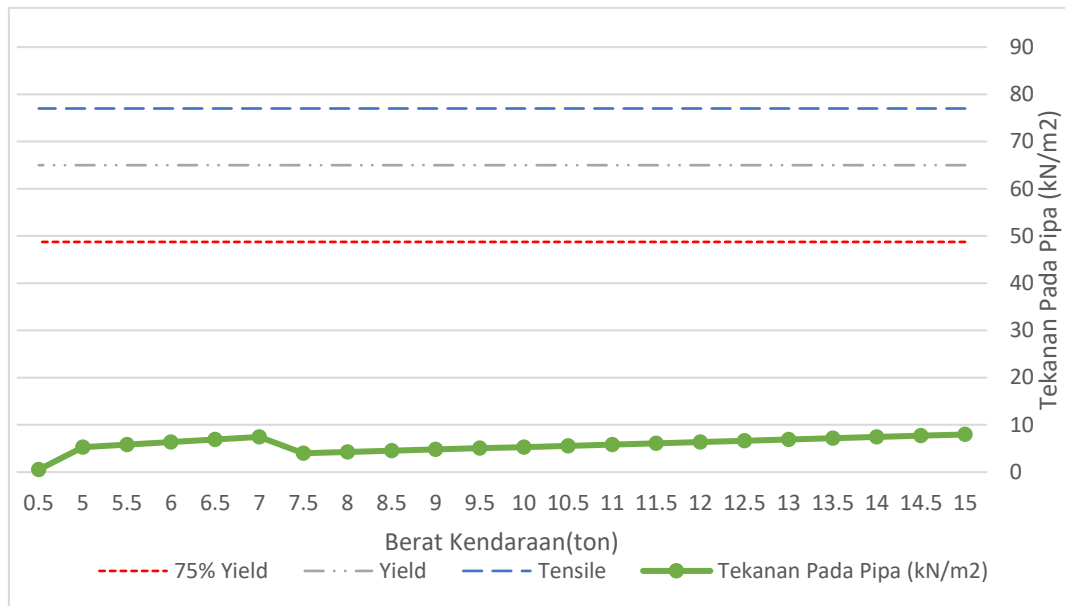


Gambar 4. 17 Deformasi tanah dengan perbesaran 500 kali pada simulasi beban kendaraan 15 ton



Gambar 4. 18 *Total Stress* tanah pada simulasi beban kendaraan 15 ton

Pada Gambar 4.17 diilustrasikan Gambar dengan skala 500 kali untuk memperlihatkan efek beban kendaraan dengan berat 15 ton. Sedangkan pada Gambar 4.18 dapat dilihat *Total Stress* pada tanah dimana kurang lebih terdapat tekanan yang berkisar antara 6 hingga 8 kN/m² pada bagian atas pipa. Sehingga dapat dibandingkan hasil analisis dengan yield strength dan tensile strength dari pipa yang dimuat pada Gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4. 19 Perbandingan tekanan pada pipa akibat beban kendaraan dengan properti pipa

Dapat dilihat pada Gambar 4.19 bahwa tekanan pada pipa tidak melewati batas *yield* maupun *tensile strength* dari pipa. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari beban kendaraan.

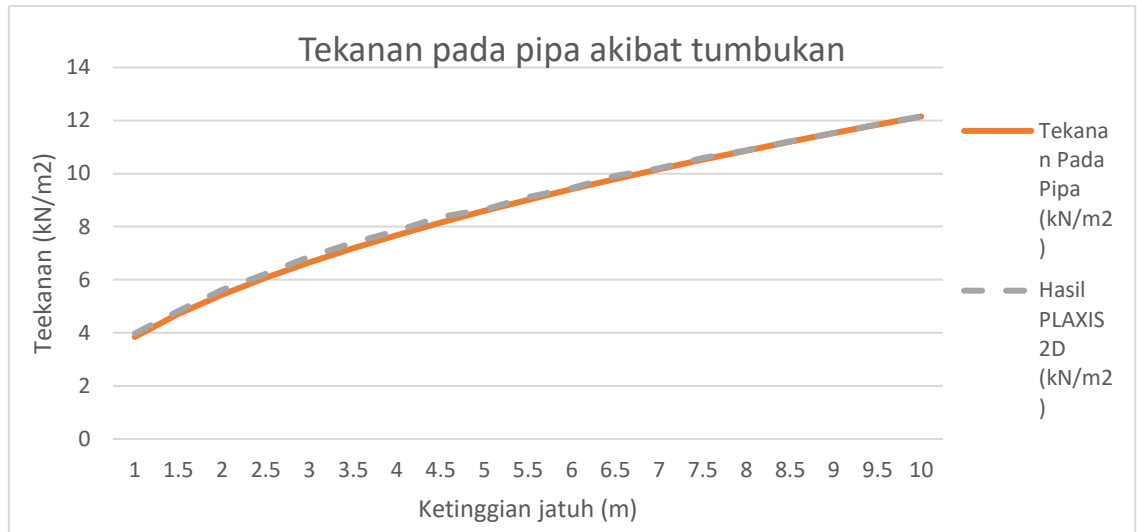
4.5.2 Validasi Response Tanah Akibat Beban Tumbukan

Simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D untuk mengetahui response tanah akibat beban tumbukan girder menggunakan model yang dimuat pada Gambar 4.9 dengan menggunakan pilihan *Plastic Analysis* atau analisis plastis pada perangkat lunak PLAXIS 2D lalu ditinjau harga dari *Total Stress* dari keluaran simulasi. Hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dimuat pada Tabel 4.24 dibawah ini.

Tabel 4. 24 Hasil simulasi tekanan perangkat lunak PLAXIS 2D beban tumbukan

Ketinggian Jatuh / Hf (m)	Tekanan pada pipa		Hasil PLAXIS 2D (kN/m2)	%Error
	Psi	kN/m2		
1	0,55	3,84	3,97	3.3%
1,50	0,68	4,70	4,82	2.4%
2	0,78	5,43	5,62	3.4%
2,50	0,88	6,07	6,22	2.4%
3	0,96	6,65	6,87	3.2%
3,50	1,04	7,18	7,39	2.8%
4	1,11	7,68	7,85	2.1%
4,50	1,18	8,15	8,37	2.7%
5	1,24	8,59	8,65	0.7%
5,50	1,30	9,01	9,11	1.1%
6	1,36	9,41	9,45	0.4%
6,50	1,42	9,79	9,91	1.2%
7	1,47	10,16	10,20	0.3%
7,50	1,52	10,52	10,59	0.6%
8	1,57	10,86	10,88	0.1%
8,50	1,62	11,20	11,22	0.2%
9	1,67	11,52	11,53	0.0%
9,50	1,71	11,84	11,85	0.1%
10	1,76	12,15	12,15	0.0%

Setelah ditemukan persen error maka di dapat di plot hasil keluaran perangkat lunak PLAXIS 2D dengan perhitungan manual yang dimuat pada Gambar 4.20 dibawah ini.



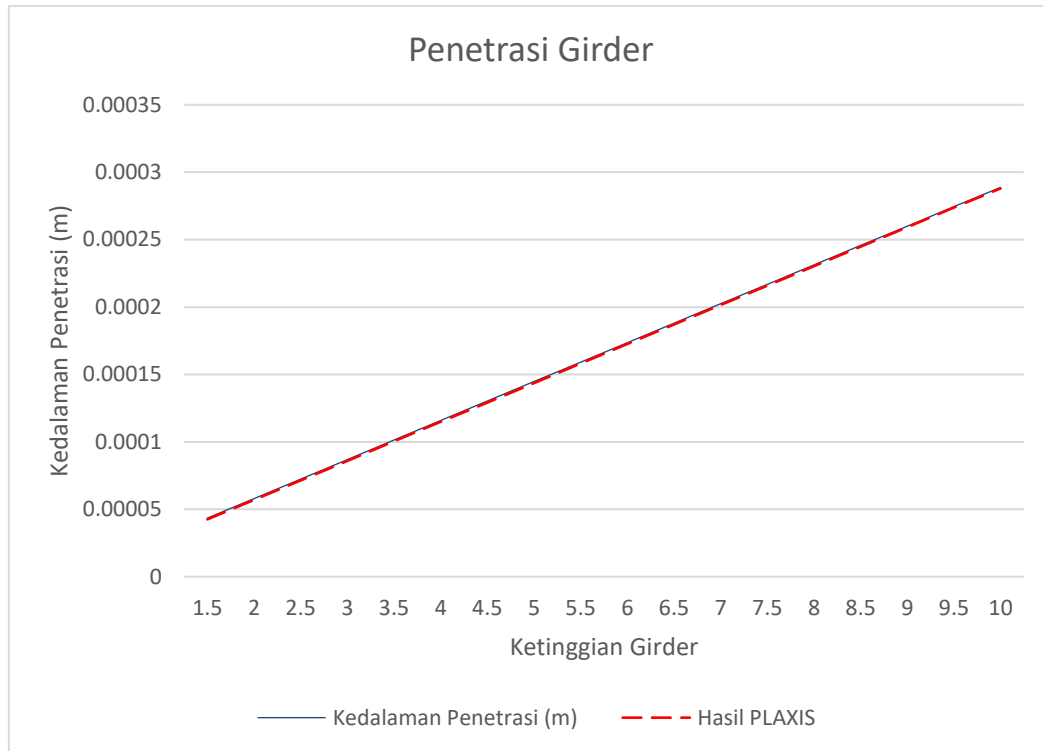
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan hasil perhitungan tekanan akibat beban tumbukan manual dengan keluaran PLAXIS 2D

Dari Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa harga tekanan tertinggi didapat dari ketinggian jatuh 10 m dan menurun seiring dengan turunnya harga ketinggian. Sedangkan untuk beban akibat tumbukan juga diperhitungkan kedalaman penetrasi yang diakibatkan oleh girder. Hasil perhitungan kedalaman penetrasi girder pada tanah menurut ketinggian jatuhnya dimuat pada Tabel 4.25 sebagai berikut.

Tabel 4. 25 Hasil simulasi penetrasi girder perangkat lunak PLAXIS 2D
beban tumbukan

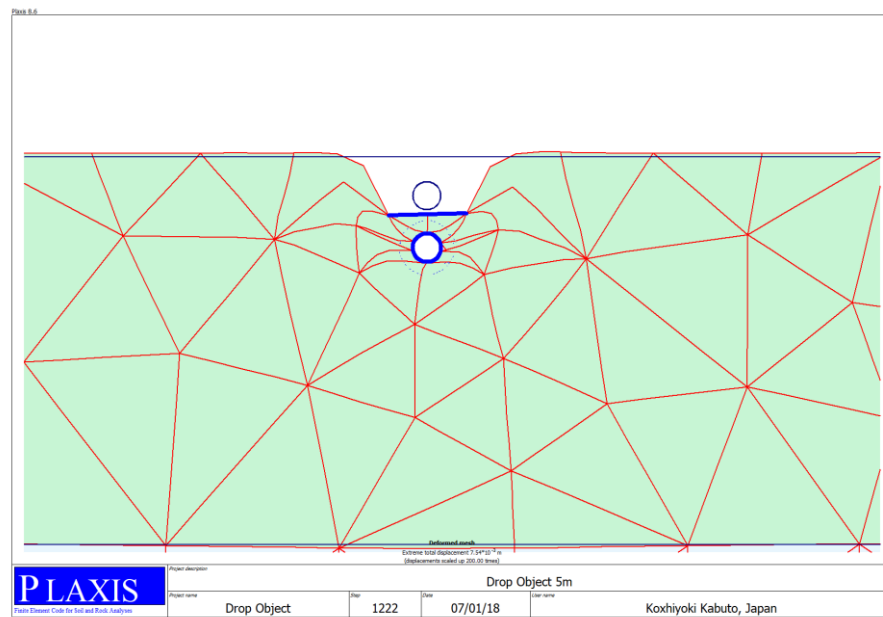
Ketinggian Jatuh / h		Dalam Penetrasi / xp		Hasil PLAXIS (m)	%error
Meter	Feet	Meter	Feet		
1	3,28	2,9003E-05	9,54046E-05	0,00002808	3.2%
1,50	4,93	4,34939E-05	0,000143072	0,00004253	2.2%
2	6,57	5,79776E-05	0,000190716	0,00005697	1.7%
2,50	8,22	7,24543E-05	0,000238336	0,00007142	1.4%
3	9,86	8,69239E-05	0,000285934	0,00008587	1.2%
3,50	11,51	0,000101386	0,000333508	0,00010032	1.1%
4	13,15	0,000115842	0,000381059	0,00011477	0.9%
4,50	14,80	0,00013029	0,000428586	0,00012922	0.8%
5	16,44	0,000144732	0,000476091	0,00014367	0.7%
5,50	18,09	0,000159166	0,000523572	0,00015812	0.7%
6	19,73	0,000173593	0,00057103	0,00017257	0.6%
6,50	21,38	0,000188013	0,000618465	0,00018702	0.5%
7	23,02	0,000202427	0,000665877	0,00020147	0.5%
7,50	24,67	0,000216833	0,000713265	0,00021592	0.4%
8	26,31	0,000231232	0,000760631	0,00023037	0.4%
8,50	27,96	0,000245624	0,000807974	0,00024482	0.3%
9	29,60	0,000260009	0,000855293	0,00025927	0.3%
9,50	31,25	0,000274387	0,00090259	0,00027372	0.2%
10	32,89	0,000288759	0,000949864	0,00028796	0.3%

Setelah ditemukan persen error maka di dapat di plot hasil keluaran perangkat lunak PLAXIS 2D dengan perhitungan manual yang dimuat pada Gambar 4.21 dibawah ini.

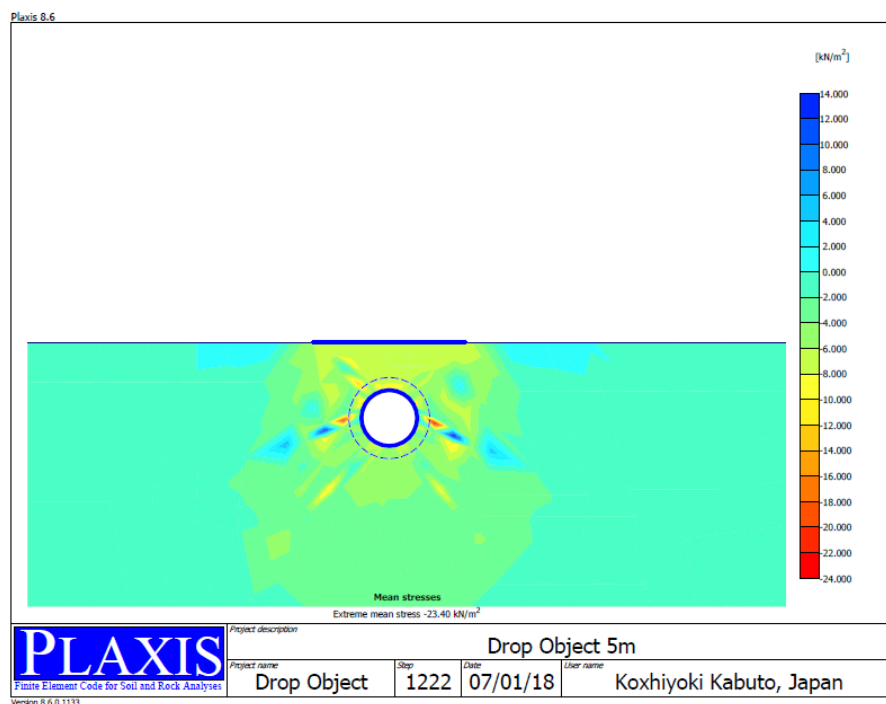


Gambar 4. 21 Grafik perbandingan hasil perhitungan kedalaman penetrasi manual dengan keluaran PLAXIS 2D

Penetrasi tanah maksimal terjadi pada beban girder jatuh dari ketinggian 10 m dengan harga penetrasi 0.00028796 m dengan begitu penetrasi girder tidak akan mengenai pipa. Serta berikut ilustrasi hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dengan input beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m seperti yang dimuat pada Gambar 4.22 dan 4.23.



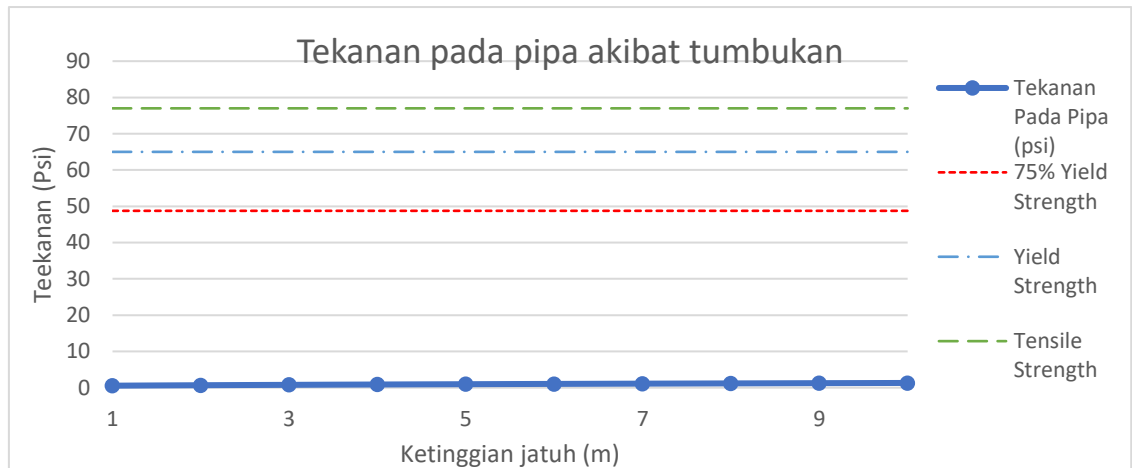
Gambar 4.22 Deformasi tanah dengan perbesaran 500 kali pada simulasi beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m.



Gambar 4.23 *Total Stress* tanah pada simulasi beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m.

Pada Gambar 4.22 diilustrasikan Gambar dengan skala 500 kali untuk memperlihatkan efek beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m..

Sedangkan pada Gambar 4.23 dapat dilihat *Total Stress* pada tanah dimana kurang lebih terdapat tekanan yang berkisar antara 8 hingga 10 kN/m² pada bagian atas pipa. Sehingga dapat dibandingkan hasil analisis dengan yield strength dan tensile strength dari pipa yang dimuat pada Gambar 4.24 dibawah ini.



Gambar 4. 24 Perbandingan tekanan pada pipa akibat beban tumbukan dengan properti pipa

Dapat dilihat pada Gambar 4.24 bahwa tekanan pada pipa tidak melewati batas *yield* maupun *tensile strength* dari pipa. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari beban tumbukan.

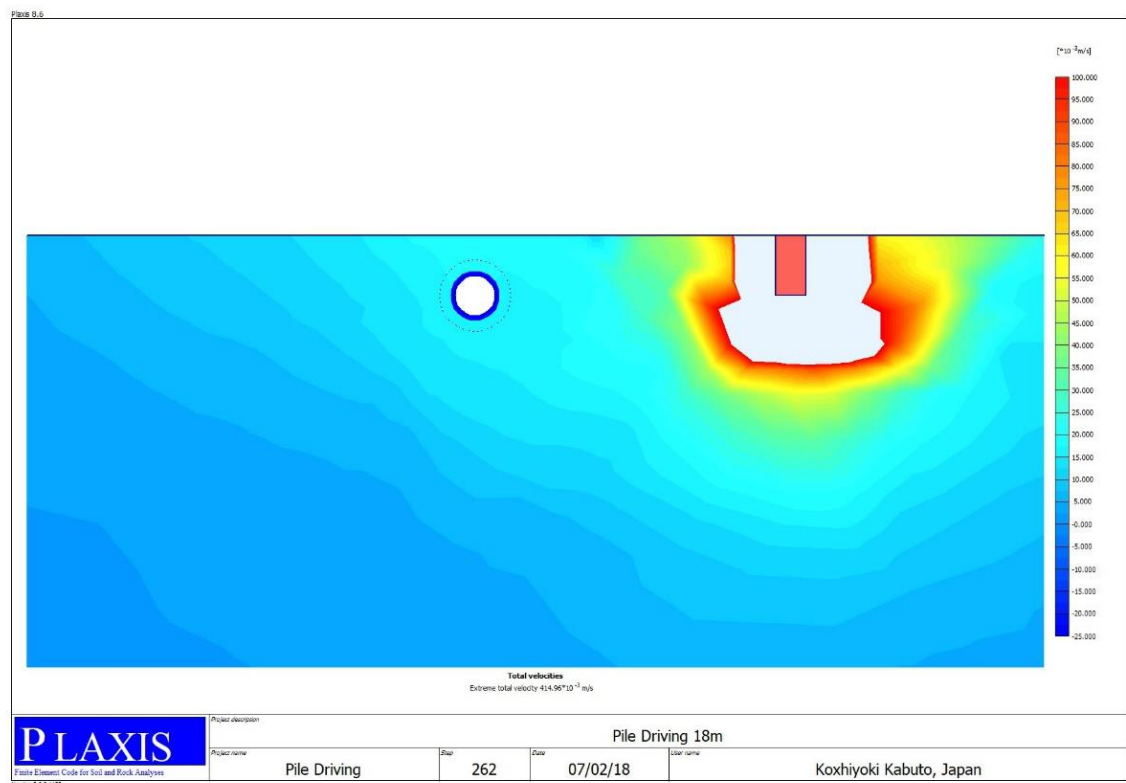
4.5.3 Validasi Response Tanah Akibat Getaran

Simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D untuk mengetahui response tanah akibat getaran menggunakan model yang dimuat pada Gambar 4.11 dengan menggunakan pilihan *Plastic Analysis* atau analisis plastis lalu dilanjutkan dengan step kedua *Dynamic Analysis* atau analisis dinamis pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Lalu ditinjau harga dari *Total Velocity* dari keluaran simulasi. Untuk mempersingkat hasil simulasi yang ditinjau keluarannya hanya keluaran dengan radius penanaman 5 meter dari pipa dengan tiga ketinggian jatuh berbeda. Berikut hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dimuat pada Tabel 4.26 dibawah ini.

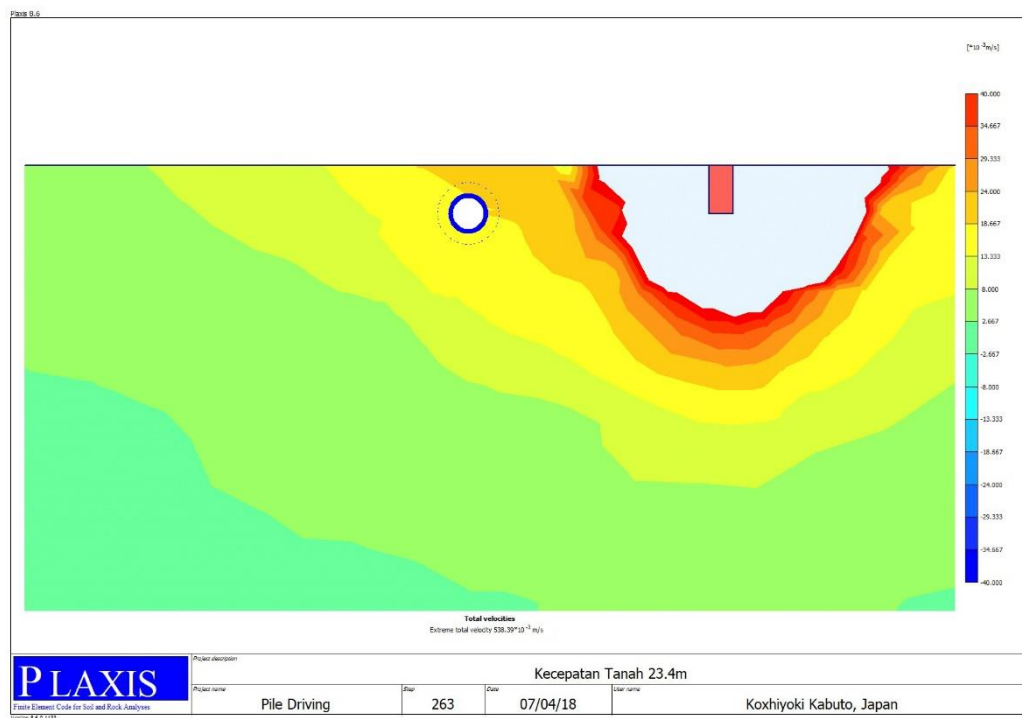
Tabel 4. 26 Hasil simulasi getaran perangkat lunak PLAXIS akibat penanaman pondasi

Ketinggian Jatuh <i>Hammer</i>	Jarak Penanaman Pondasi ke Pipa		PPV (mm/s)	Hasil PLAXIS 2D (mm/s)	%Error
	feet	meter			
18	16,40	5	18,81	17,92	5%
23,4	16,40	5	21,45	20,38	5%
24,5	16,40	5	21,95	20,85	5%

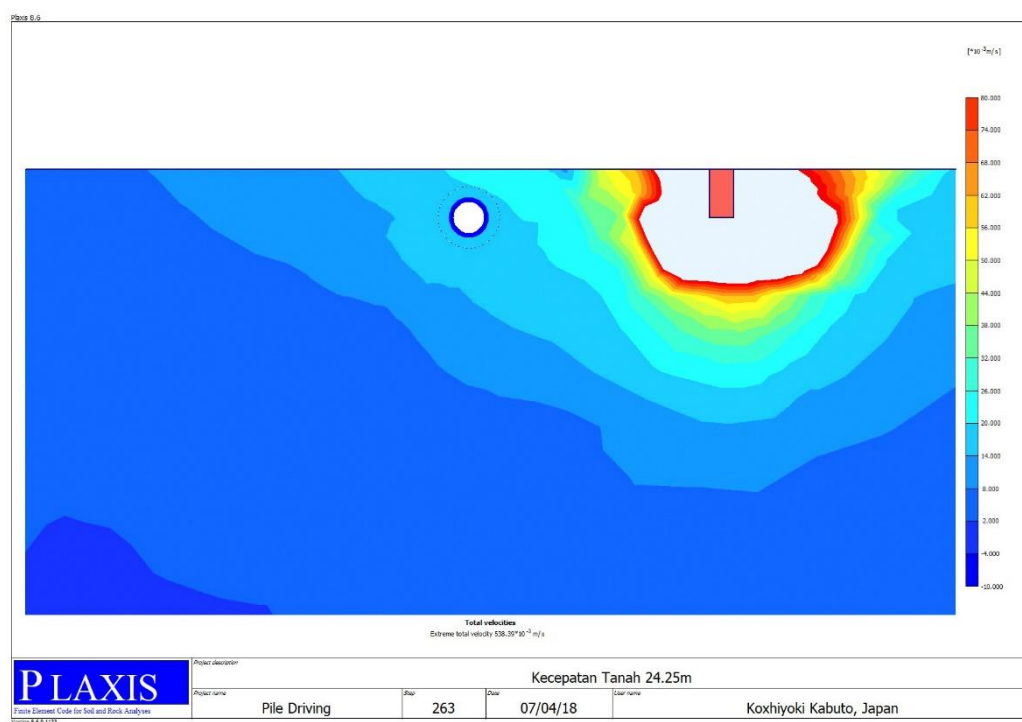
Setelah hasil PLAXIS 2D dibandingkan berikut ilustrasi hasil simulasi perangkat lunak PLAXIS 2D dengan input beban tumbukan girder dengan ketinggian jatuh 5 m seperti yang dimuat pada Gambar 4.25, 4.26, dan 4.27.



Gambar 4. 25 *Total Velocity* tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh *pile hammer* 18 m.



Gambar 4. 26 *Total Velocity* tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh *pile hammer* 23,4 m.



Gambar 4. 27 *Total Velocity* tanah pada simulasi penanaman pondasi 5 m dari pipa dengan ketinggian jatuh *pile hammer* 24,25 m.

Dengan begitu dapat dibandingkan getaran yang terjadi akibat penanaman pondasi dengan *Codes and Standards* DIN 4150-3 yang dimuat pada Tabel 4.27 sebagai berikut.

Tabel 4. 27 Perbandingan PPV akibat penanaman pondasi dengan *Codes and Standards* DIN 4150-3.

Ketinggian Jatuh <i>Hammer</i>	PPV (mm/s)	Standard DIN 4150-3 (mm/s)	Status
18,00	18,81	100	Aman
23,40	21,45		Aman
24,50	21,95		Aman

Dapat dilihat pada Tabel 4.27 bahwa getaran pipa tidak melebihi standar yang ditetapkan oleh DIN 4150-3. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari getaran akibat pemancangan.

(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan pada BAB IV yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Saat dianalisis beban kendaraan, dari analisis didapat hasil tekanan pada pipa akibat beban kendaraan sebesar 7.72, 5.22, 0.48 kN/m² untuk kendaraan dengan berat 10, 5, dan 0.5 ton tekanan pada pipa tidak melewati batas *yield* maupun *tensile strength* dari pipa. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari beban kendaraan.
2. Saat dianalisis beban tumbukan, dari analisis beban tumbukan dihasilkan tekanan sebesar 3.97, 8.65, 12.15 kN/m² dan kedalaman penetrasi 2.9003E-05, 0.000144732, 0.000288759 m untuk tumbukan dengan ketinggian jatuh 1, 5, dan 10 penetrasi girder tidak mencapai kedalaman pipa dan tekanan pada pipa tidak melewati batas *yield* maupun *tensile strength* dari pipa. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari beban tumbukan.
3. Saat dianalisis beban penanaman pondasi, dihasilkan getaran akibat pemancangan pondasi dari jarak 5m mengakibatkan getaran 18.81625, 21.45382, dan 21.95229 mm/s menurut tiga variasi ketinggian *hammer pile*, getaran pipa tidak melebihi standar yang ditetapkan oleh DIN 4150-3. Dengan ini pipa dapat dinyatakan aman dari getaran akibat pemancangan.

5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dianalisa cara penanganan dan resiko dari pekerjaan pembangunan di dekat fasilitas umum.

2. Pada penelitian selanjutnya perlu dianalisa response pipa jika terjadi beban yang lebih besar dan memiliki pengaruh terhadap pipa.
3. Perlu adanya standar nasional yang mengatur terkait beban yang terjadi pada pekerjaan pembangunan dan pengaruhnya terhadap fasilitas umum

Daftar Pustaka

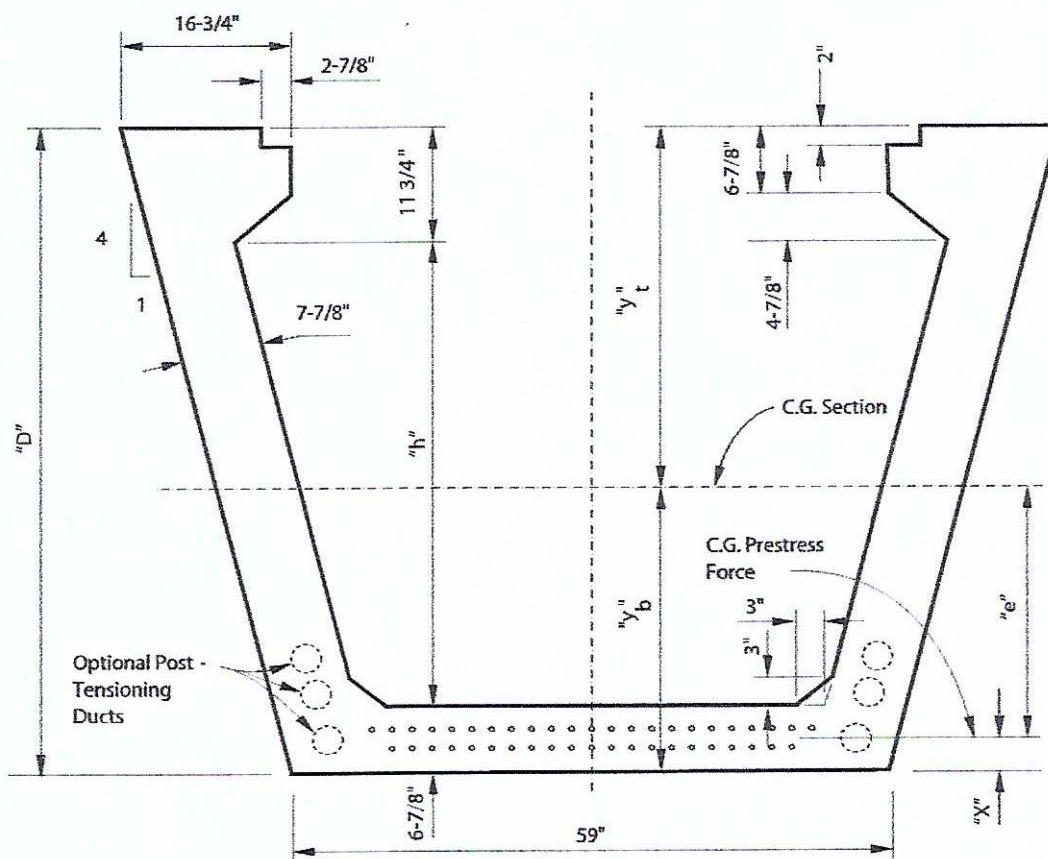
- California Department of Transportation. (n.d.). *Unified Soil Clasification System*. California Department of Transportation.
- Das, B. M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition*. Cengage Learning.
- Donahue, R. L. (1977). *Soils: an introduction to soils and plant growth*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Foth, H. D. (1978). *Fundamentals of soil Science*. New York: John Wiley & Sons.
- G. A. Antaki, J. D. (2001). *Guidlines for the Design of Buried Steel Pipe*. American Lifelines Alliance.
- Hillel, D. (1971). *Soil and Water : physical principles and proseses*. Academic Press.
- Husain, H. (2011, Januari 6). *Vibration in a Piping System - Technical Article - PT&P*. Retrieved from Piping Technology Web site: <http://www.pipingtech.com/technical/articles/vibration-in-piping-system.html>
- Iqba Nurul Rikayanti, D. A. (2015). Penilaian Risiko Sosial dan Analisis Geoteknik Terhadap Jalur Pipa LPG Semarang. *Jurnal Teknik ITS*.
- Joko Widodo, J. K. (2014, February 8). *Visi dan Misi Jokowi JK*. Retrieved from Lapak Oppa Jappy: <https://abbah.yolasite.com/resources/VISI%20DAN%20MISI%20JOKOWI%20JK.pdf>
- K. Rainer Massarsch, B. H. (2007). Ground Vibration Induced by Impact Pile Driving. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering* (p. 4). Arlington: Missouri University of Science and Technology.
- Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas. (2018, Februari 8). *Home - KPPIP*. Retrieved from Web KPPIP: <https://kppip.go.id/>

- Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas. (2018, Februari 8). *PEMBANGUNAN FLY OVER DARI DAN MENUJU TERMINAL TELUK LAMONG*. Retrieved from Web KPPIP: <https://kppip.go.id/proyek-strategis-nasional/a-sektor-jalan/pembangunan-fly-over-dan-menuju-terminal-teluk-lamong/>
- National Transportation Safety Board. (2018, 2 24). *Pipeline Accidents Report*. Retrieved from National Transportation Safety Board Web site: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Pages/pipeline.aspx>
- PT Terminal Teluk Lamong. (2018, Februari 8). *Terminal Overview*. Retrieved from Terminal Teluk Lamong Web Site: http://www.teluklamong.co.id/page/terminal_overview-1
- Rusdiansyah. (2009). Tinjauan Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Tiang Pada Hotel Mentari Banjarmasin. *Info Teknik vol.10*, 20-33.
- Sutrisno. (2017). Pengaruh Aktivitas Pemancangan Pondasi Pada Bangunan di Sekitarnya. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 1-9.
- Tamajaya, D. G. (2012). *STUDI PENATAAN TERMINAL TAMBAK OSOWILANGUN SURABAYA DENGAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS*. Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur.
- Terzaghi, P. a. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice 3rd Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Weerasekara, L. (2011). *PIPE-SOIL INTERACTION ASPECTS IN BURIED EXTENSIBLE PIPES*. Vancouver: University of British Columbia.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

LAMPIRAN A
SPESIFIKASI GIRDER

(c) California Standard "Bath-Tub" Girder



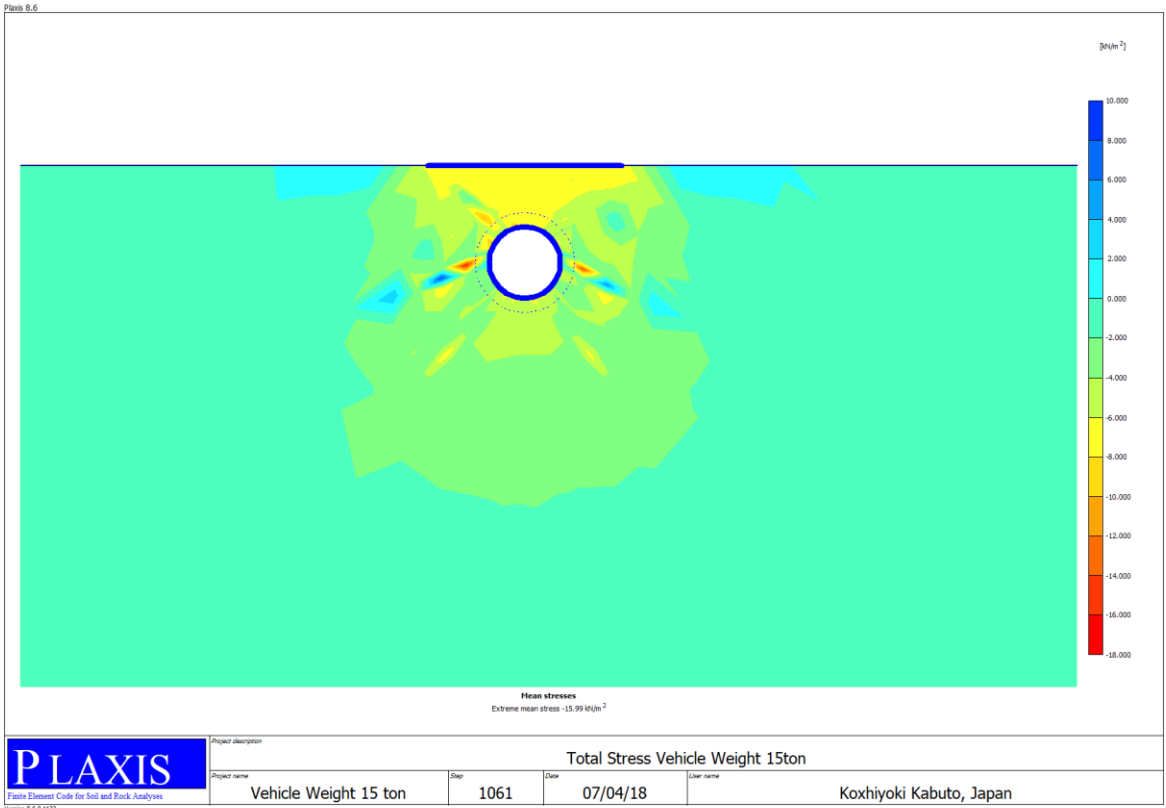
Note: All dimensions are converted from SI unit.

Section Properties

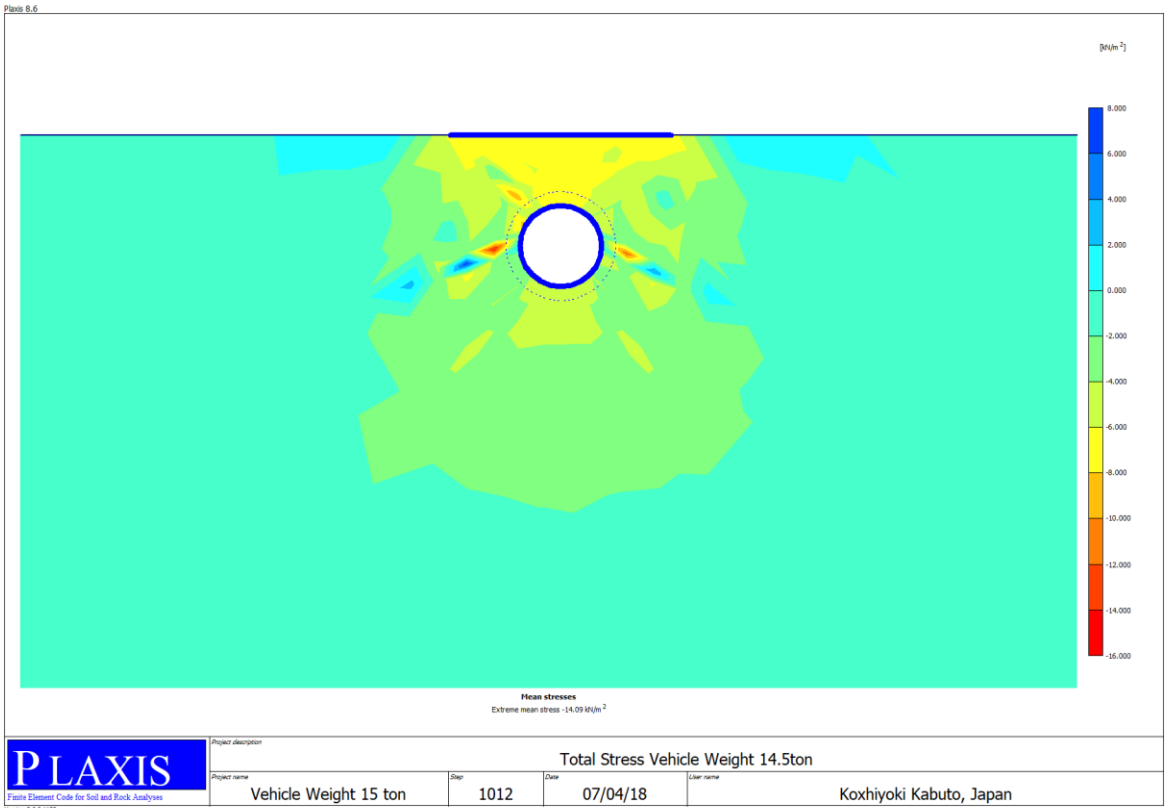
Girder Series	"D" (ft-in)	"h" (in)	Gross Area (in ²)	I _{cg} (in ⁴)	y _b (in)	y _t (in)	S _b (in ³)	S _t (in ³)	r (in)	Weight (lbs/ft)
CA TUB55	4'-7 1/8"	36.4	1,339	460,081	24.1	31.0	19,095	14,830	19	1,395
CA TUB61	5'-1"	42.3	1,435	604,231	26.9	34.1	22,471	17,702	21	1,495
CA TUB67	5'-6 7/8"	48.2	1,531	773,128	29.7	37.2	26,010	20,780	22	1,595
CA TUB73	6'-0 7/8"	54.1	1,627	968,692	32.6	40.3	29,752	24,052	24	1,695
CA TUB79	6'-6 3/4"	60.0	1,723	1,192,606	35.4	43.3	33,695	27,513	26	1,795
CA TUB85	7'-0 5/8"	65.9	1,819	1,446,551	38.3	46.4	37,801	31,190	28	1,895

LAMPIRAN B
HASIL KALKULASI PLAXIS 2D UNTUK BEBAN KENDARAAN

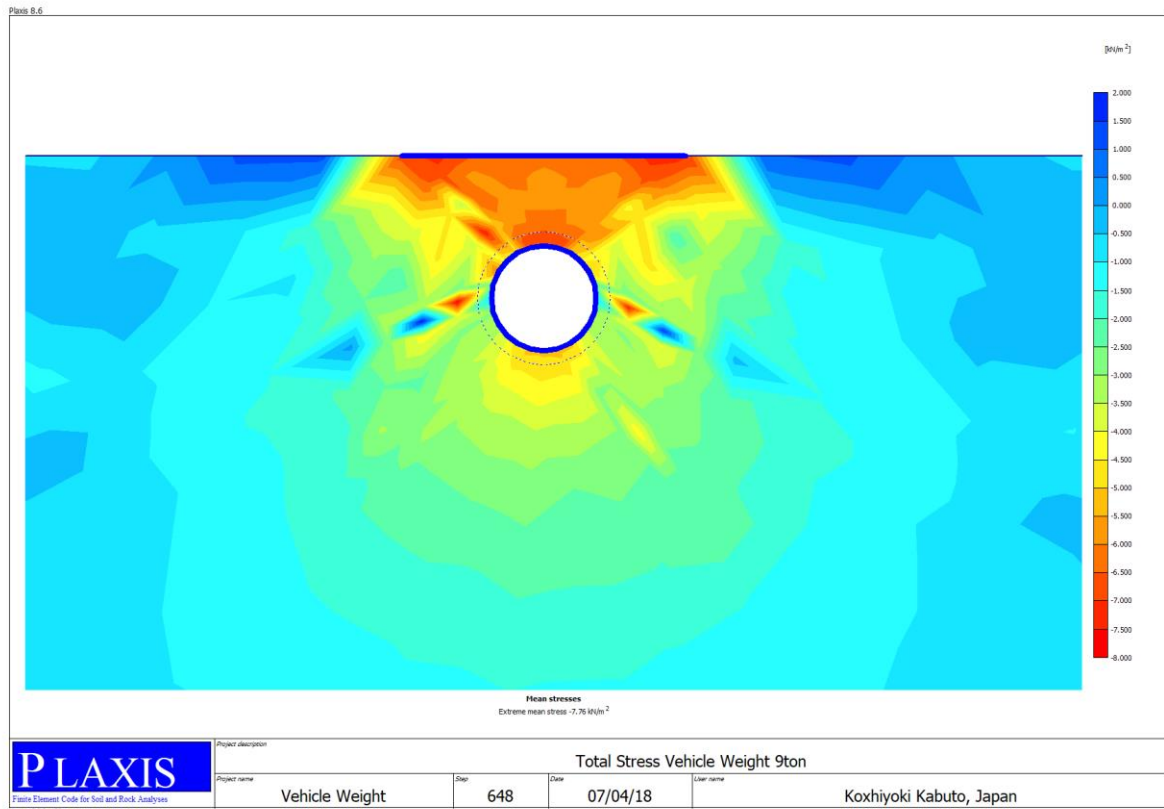
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 15 ton



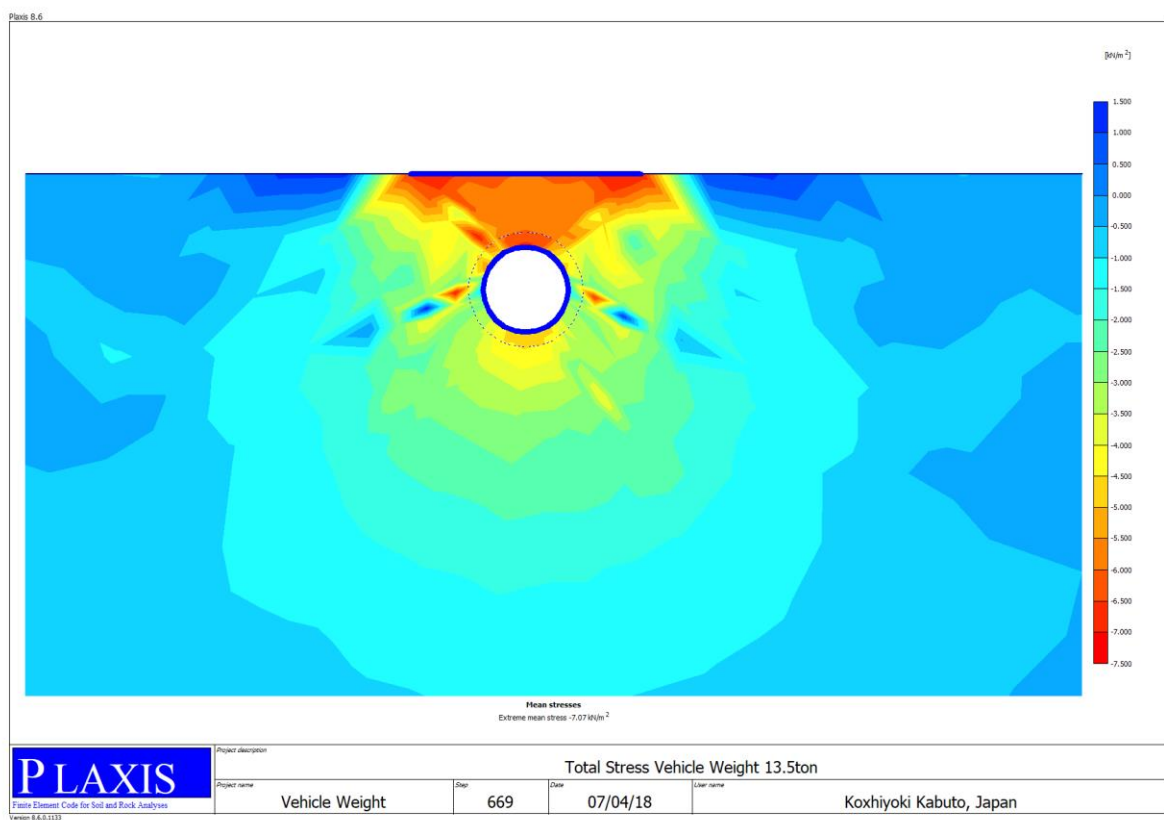
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 14.5 ton



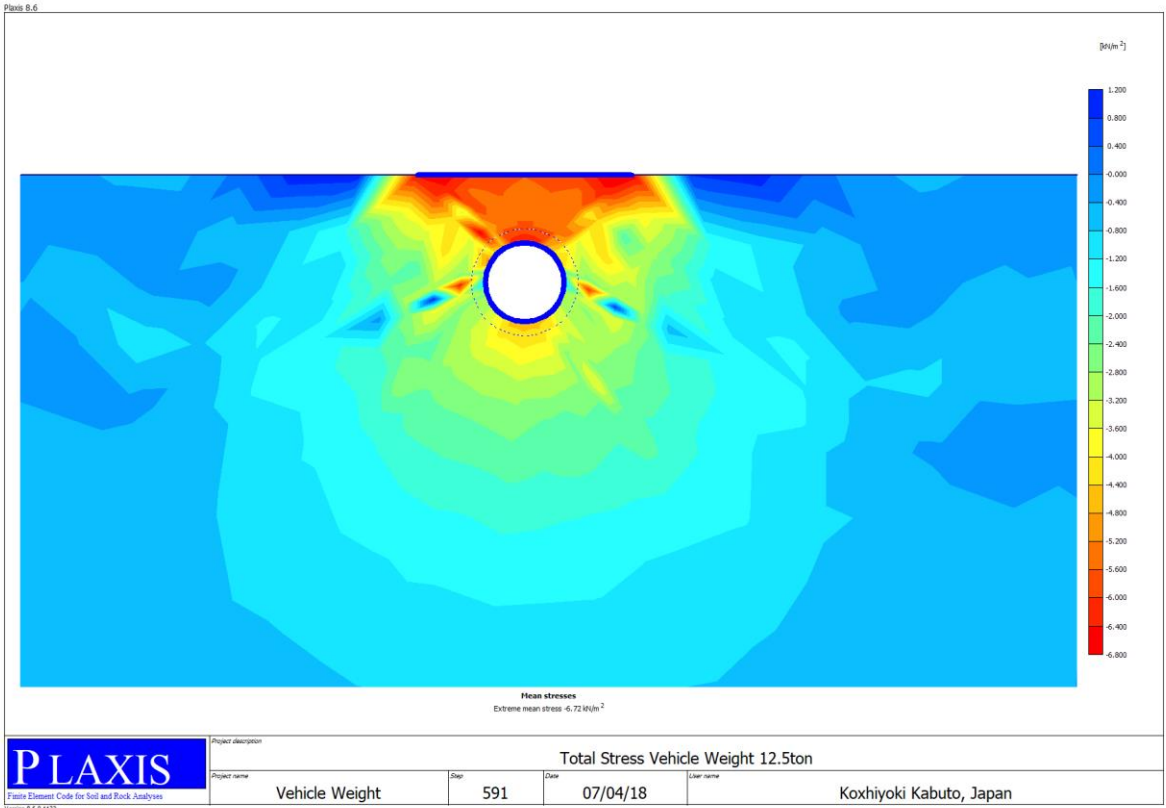
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 14. ton



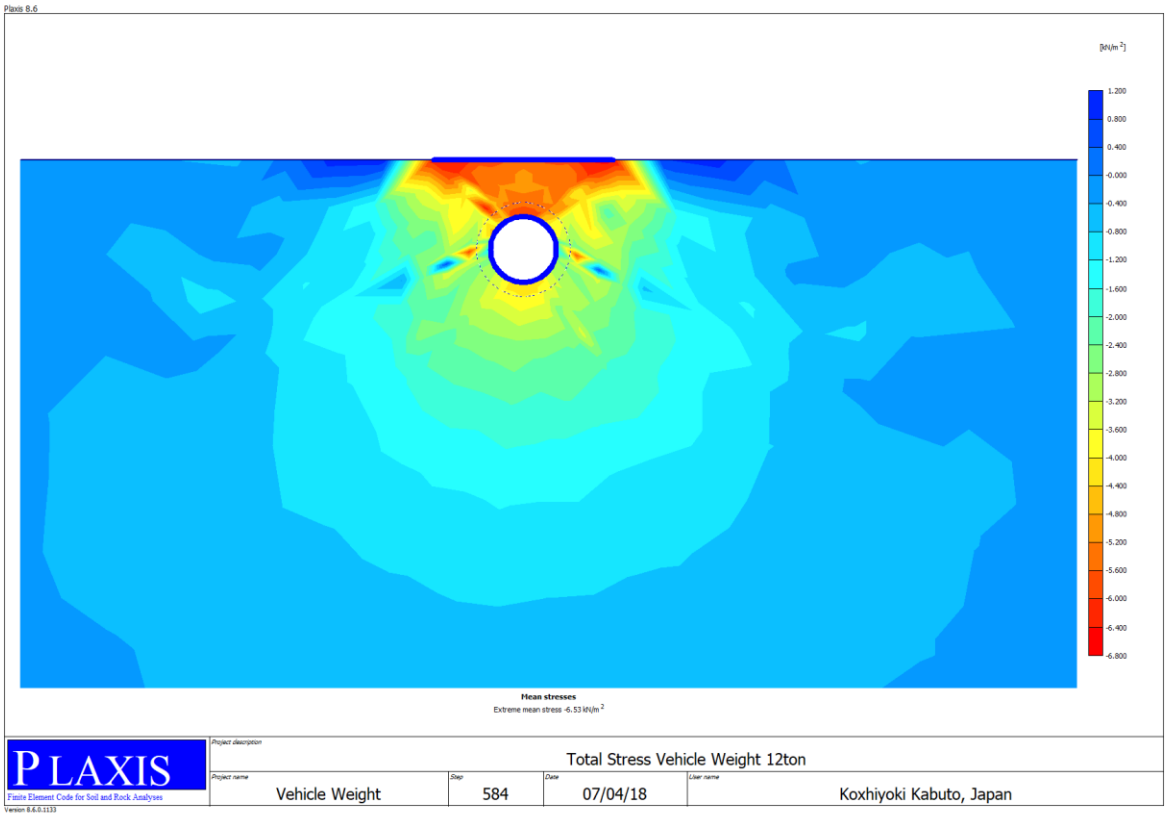
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 13 ton



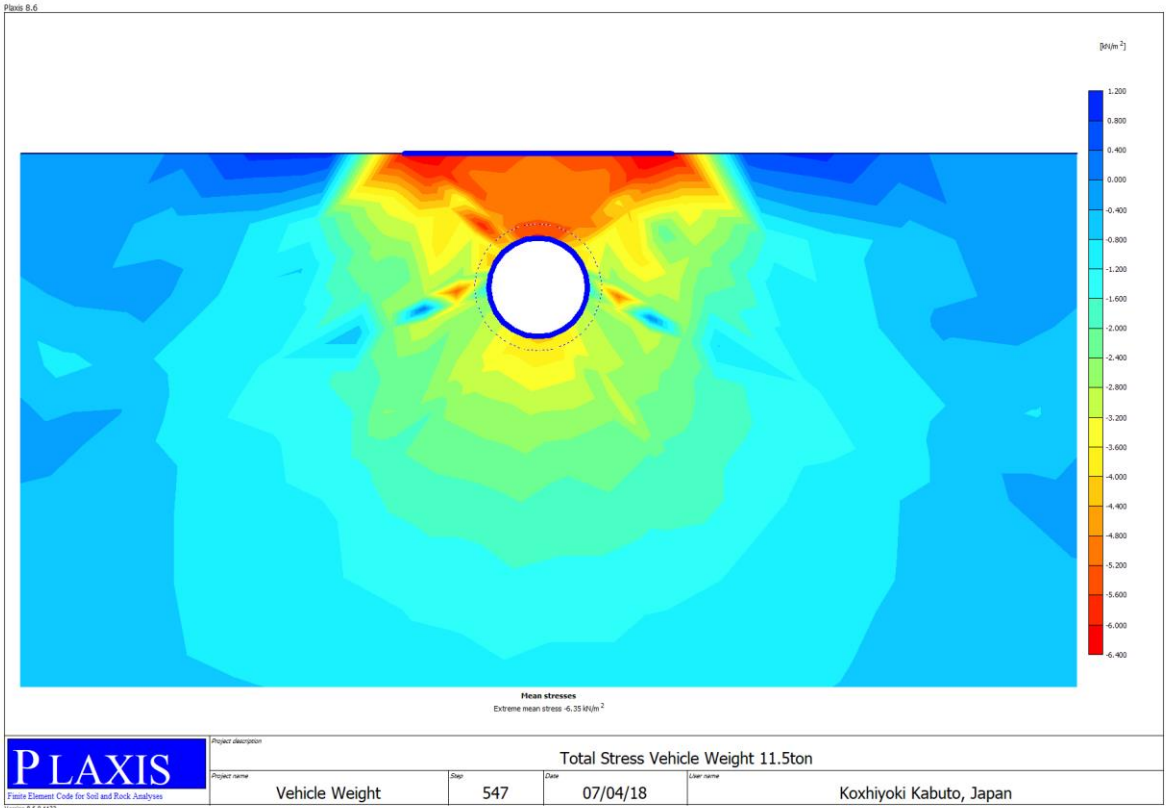
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 12.5 ton



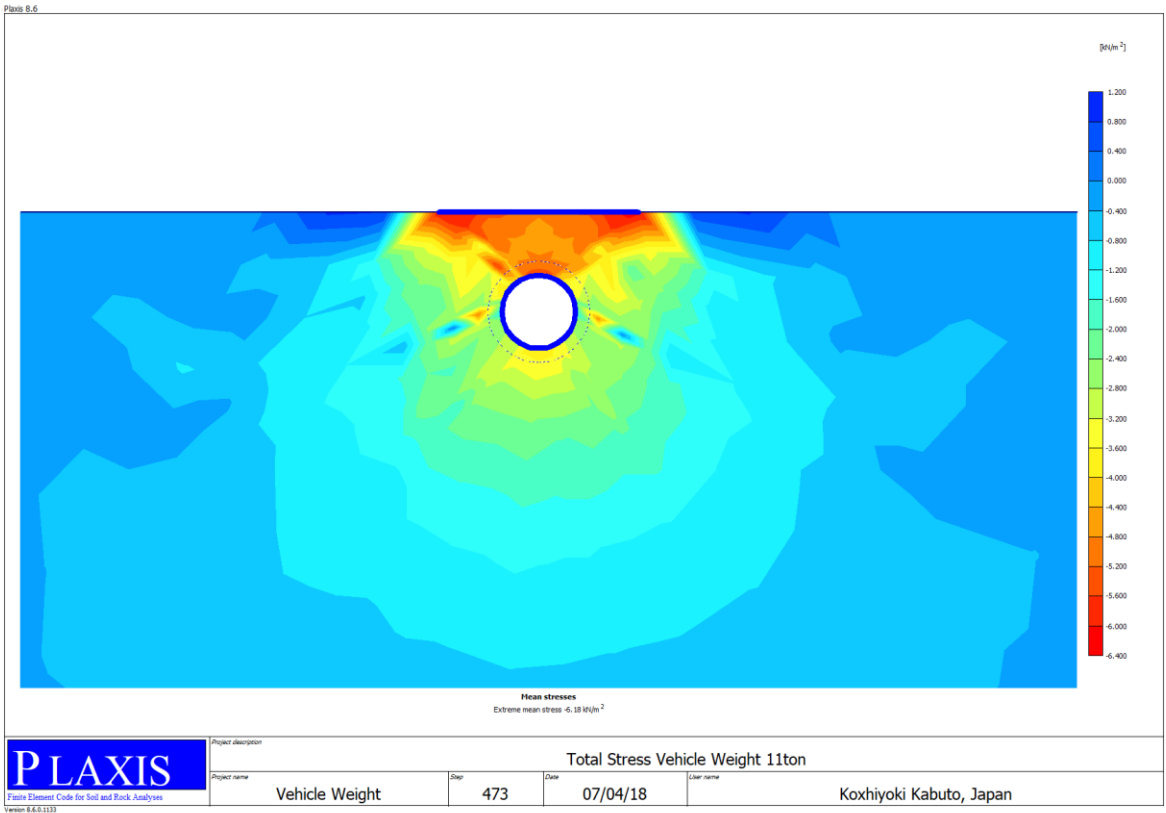
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 12 ton



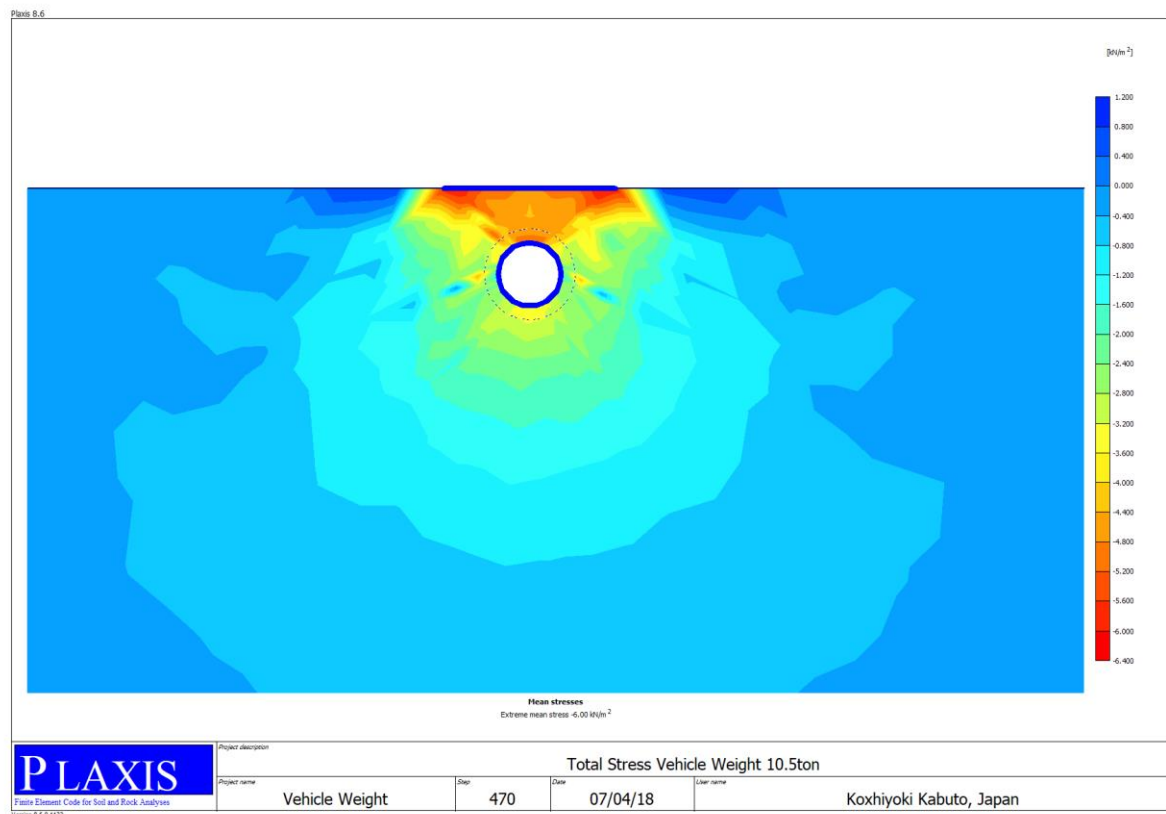
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 11.5 ton



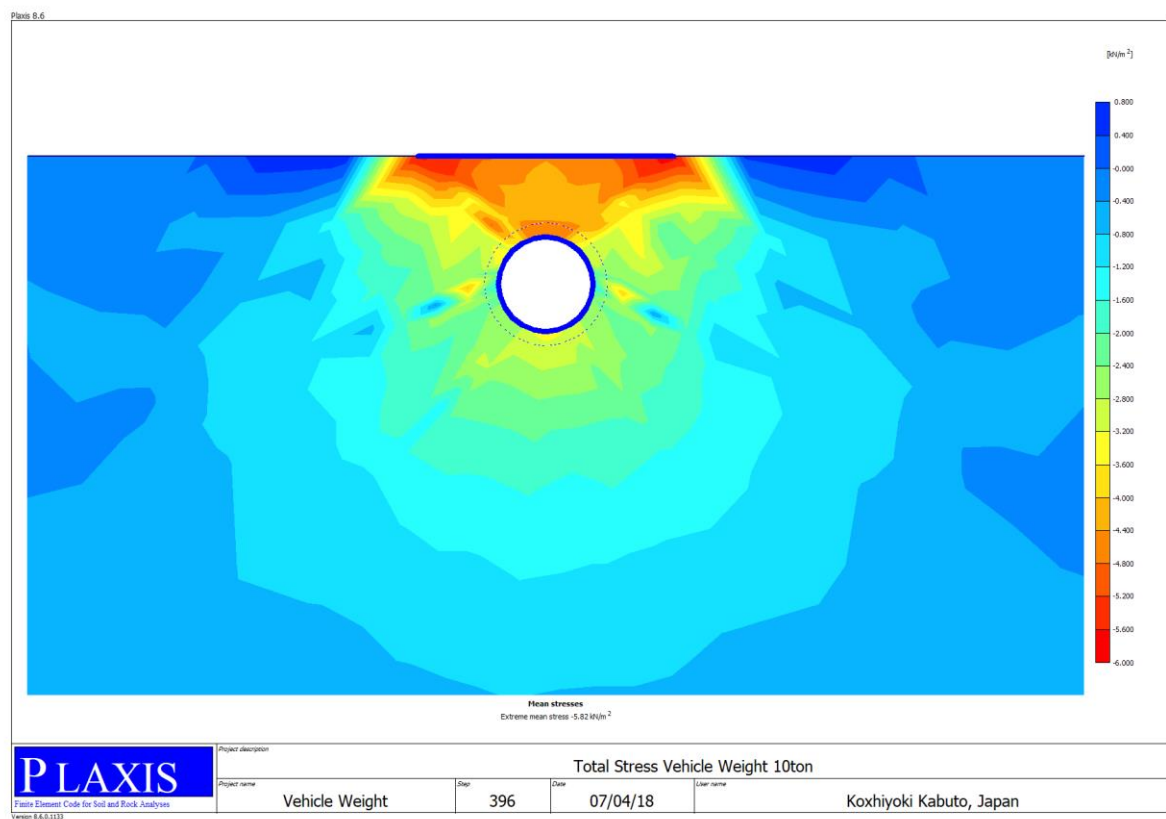
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 11 ton



Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 10.5 ton

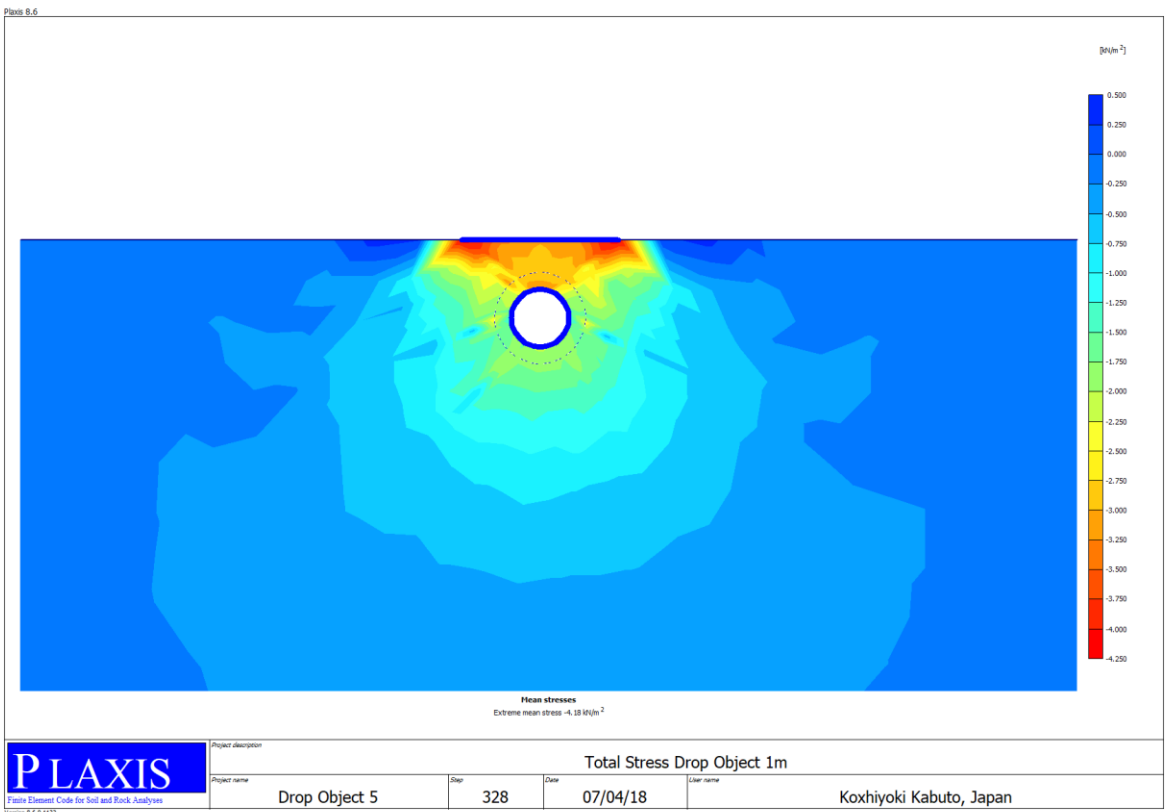
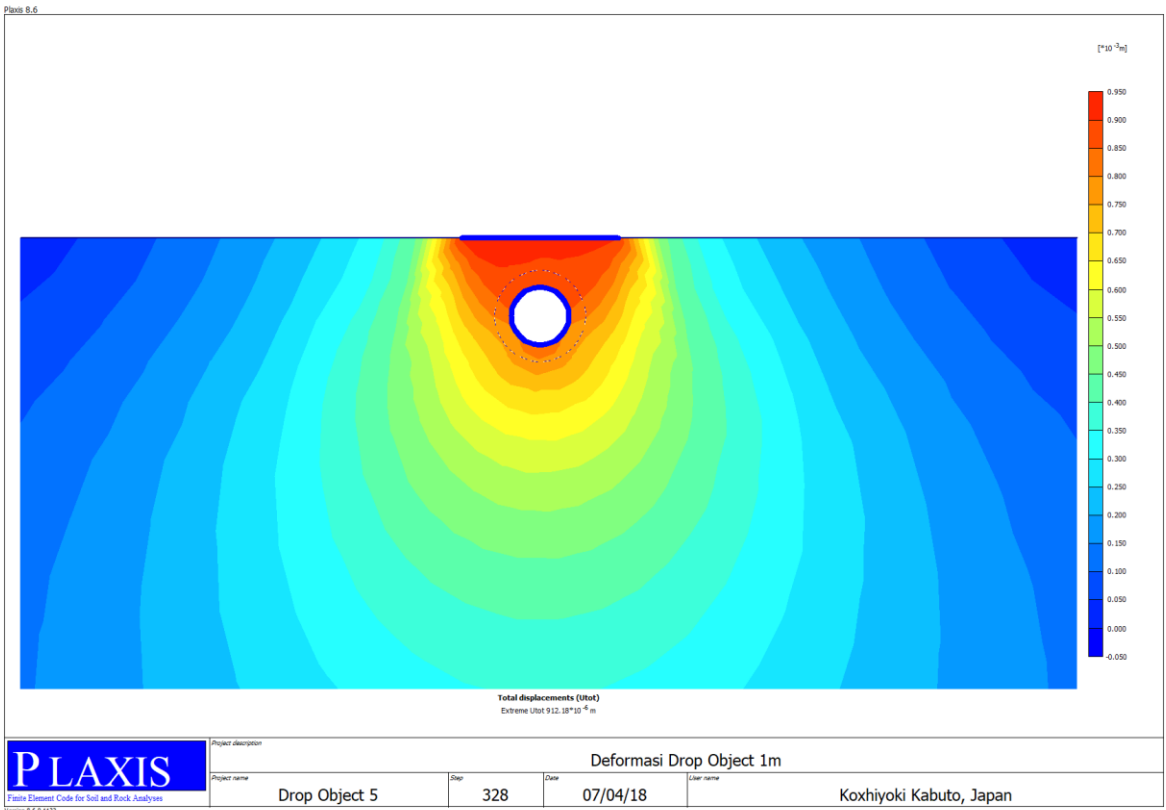


Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban kendaraan 10 ton

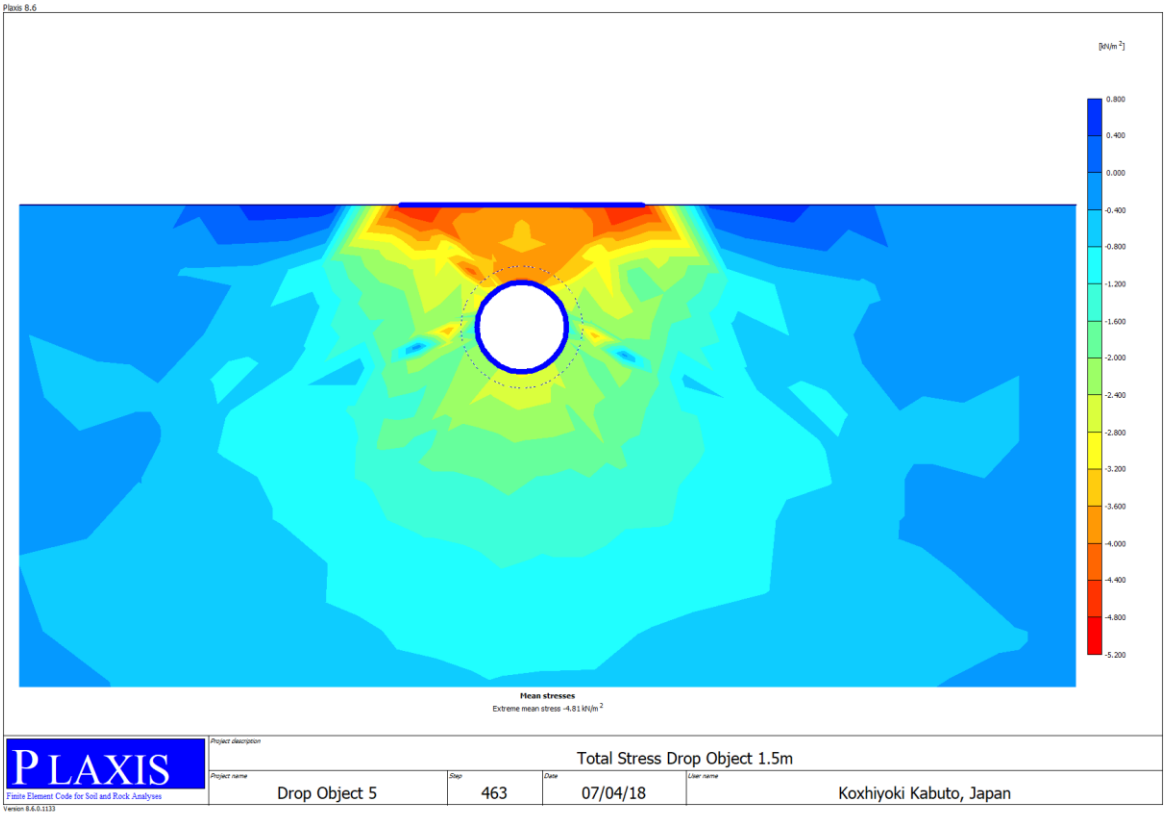
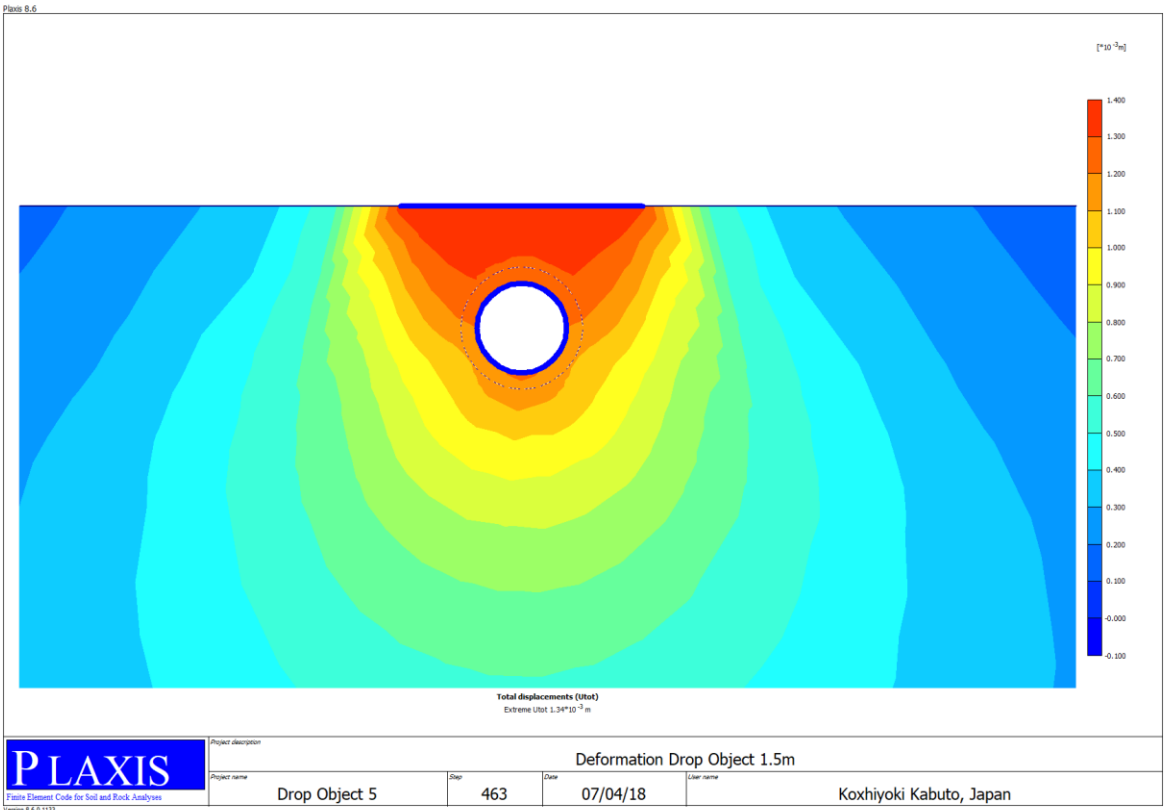


LAMPIRAN C
HASIL KALKULASI PLAXIS 2D UNTUK BEBAN TUMBUKAN

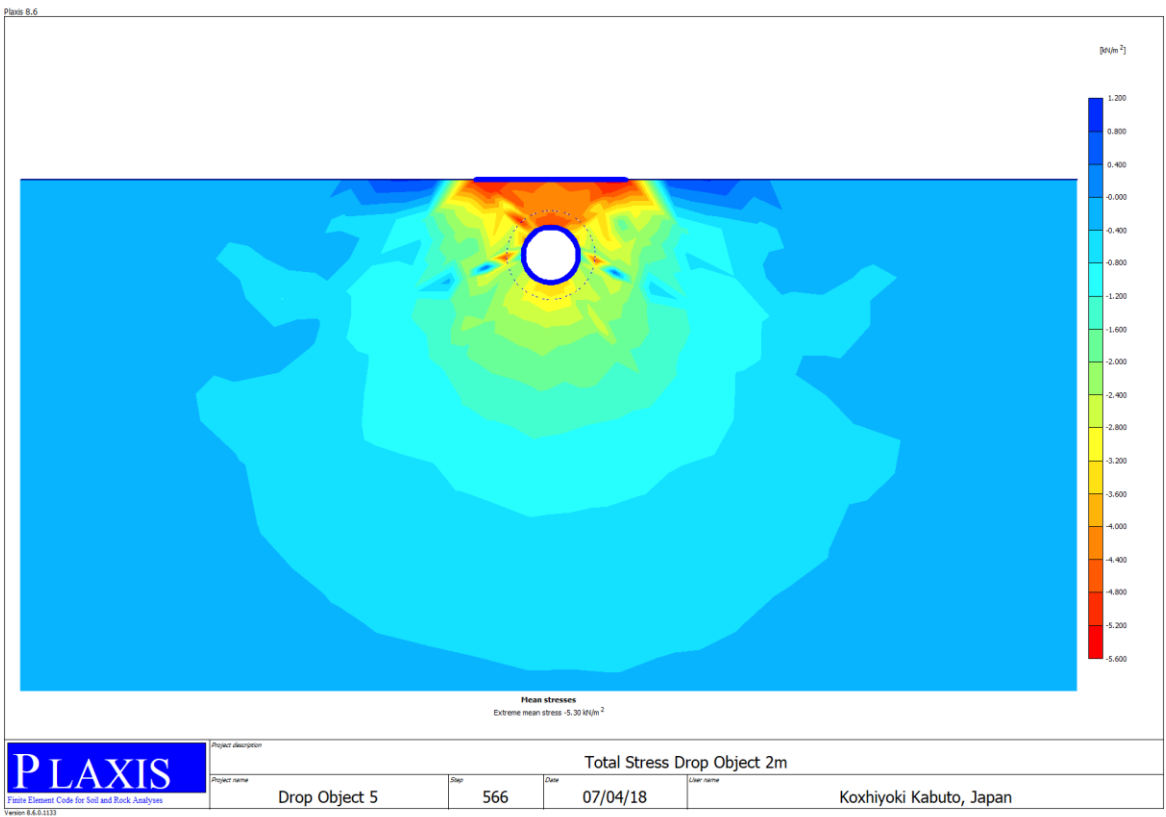
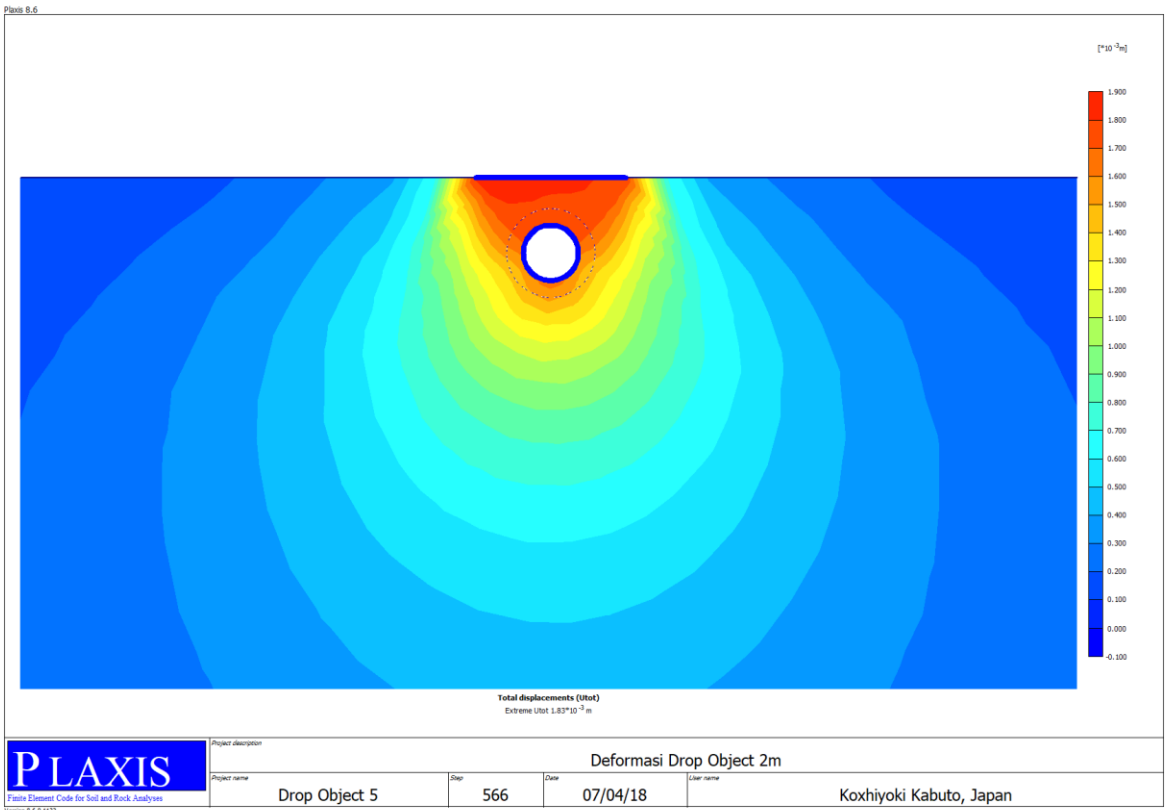
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 1 m dari permukaan tanah.



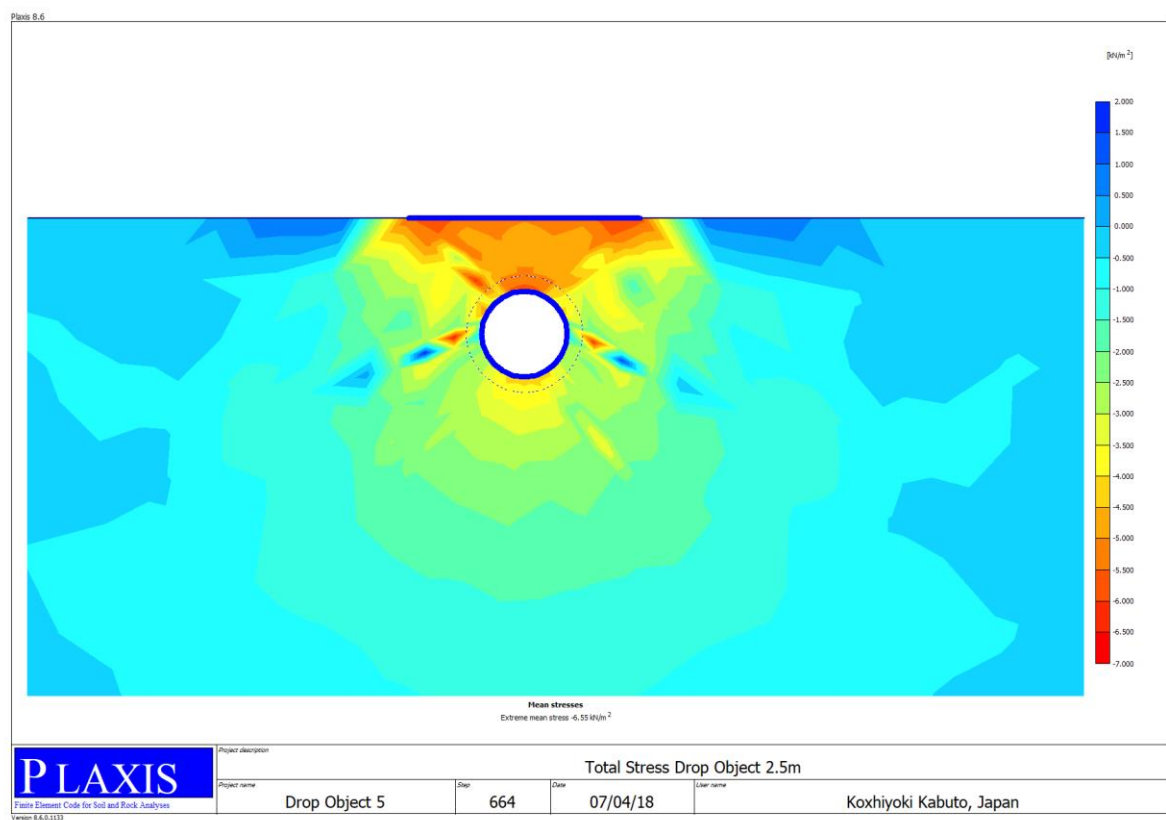
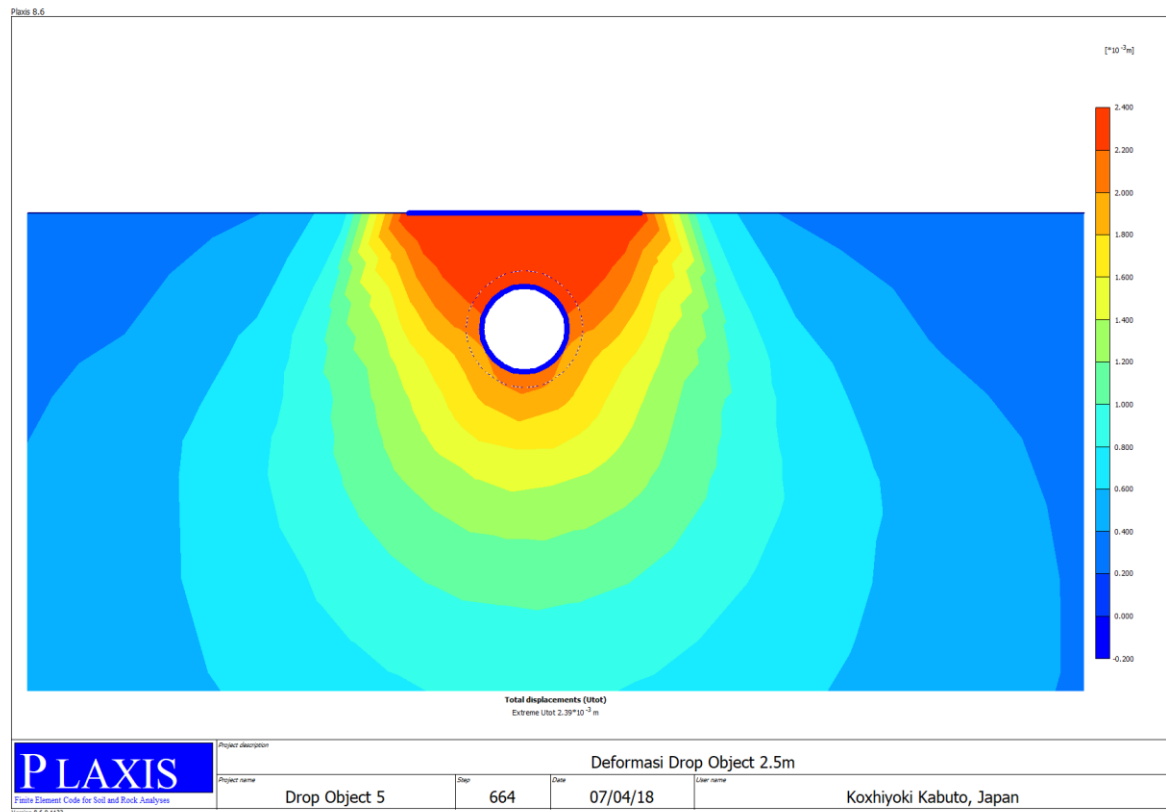
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 1.5 m dari permukaan tanah.



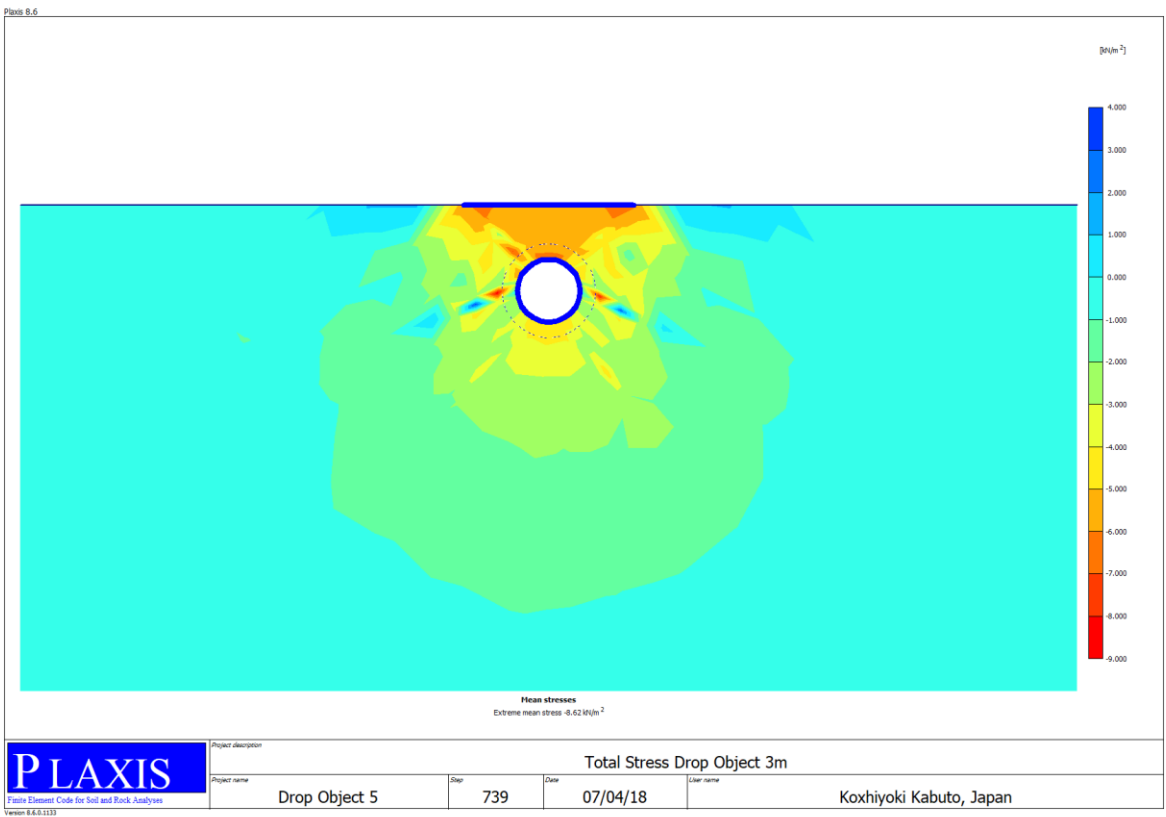
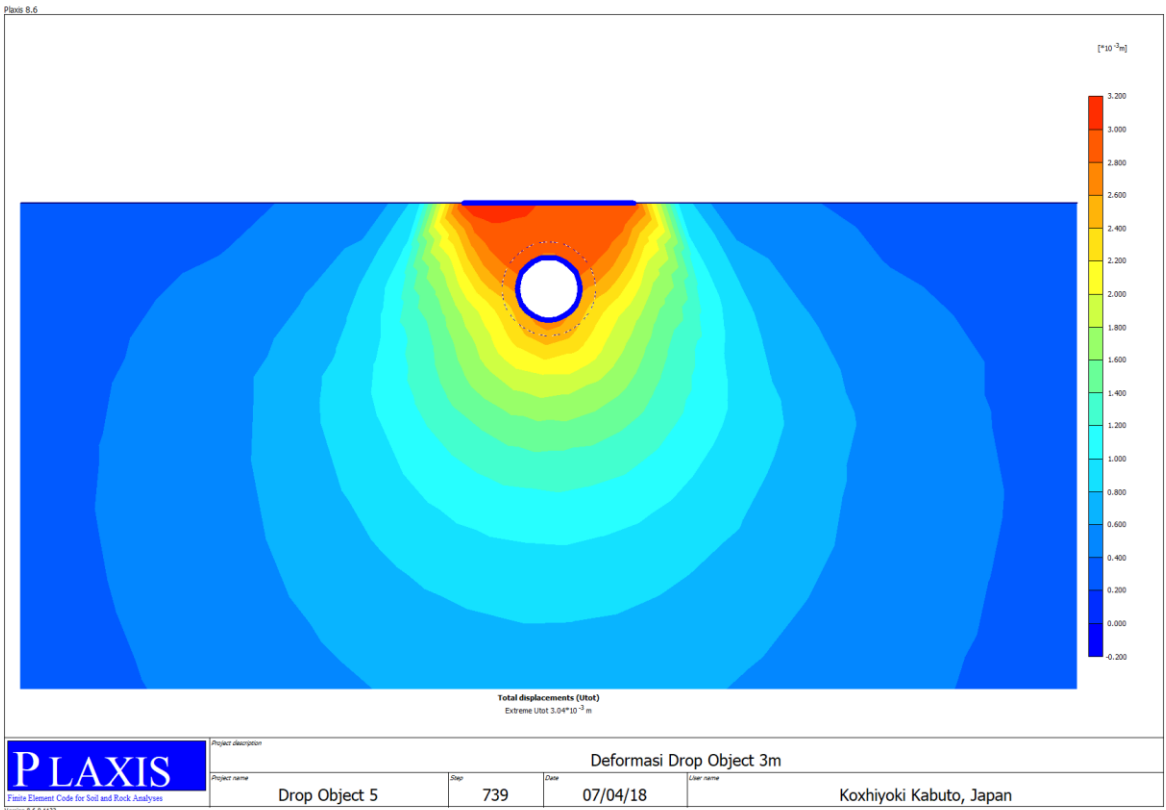
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 2 m dari permukaan tanah.



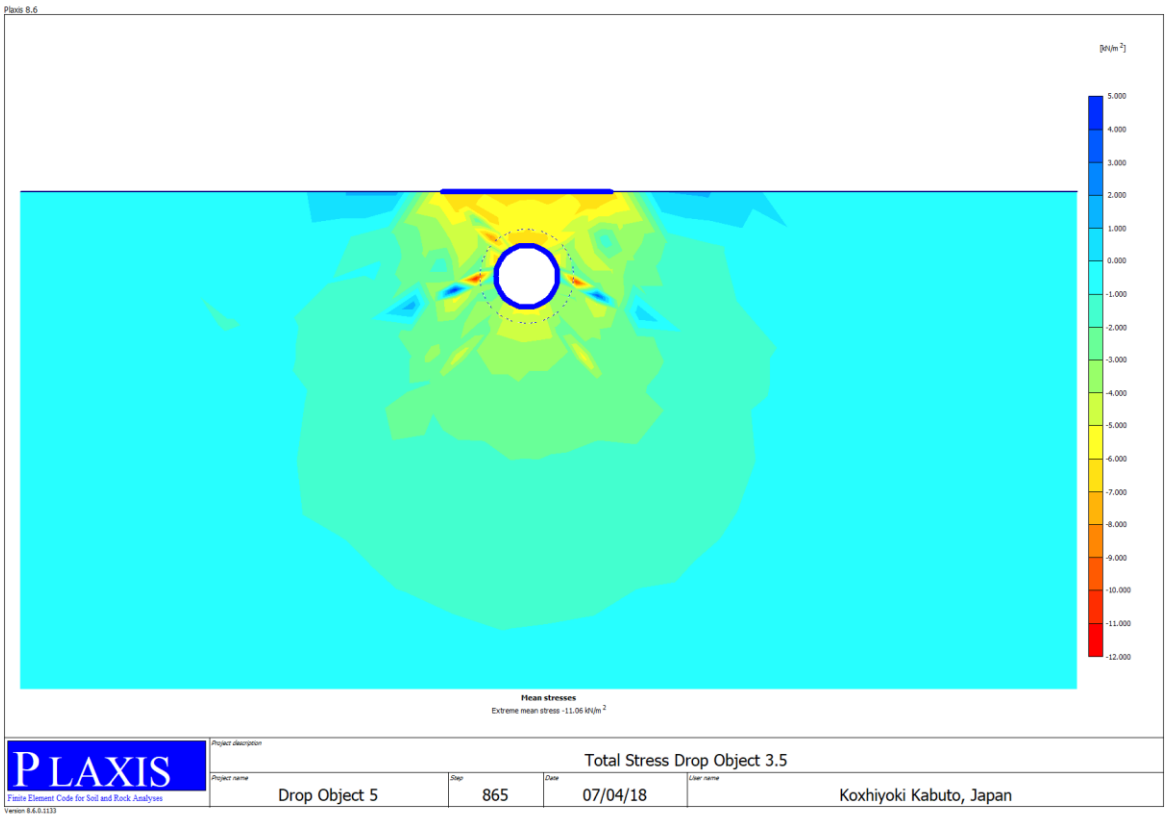
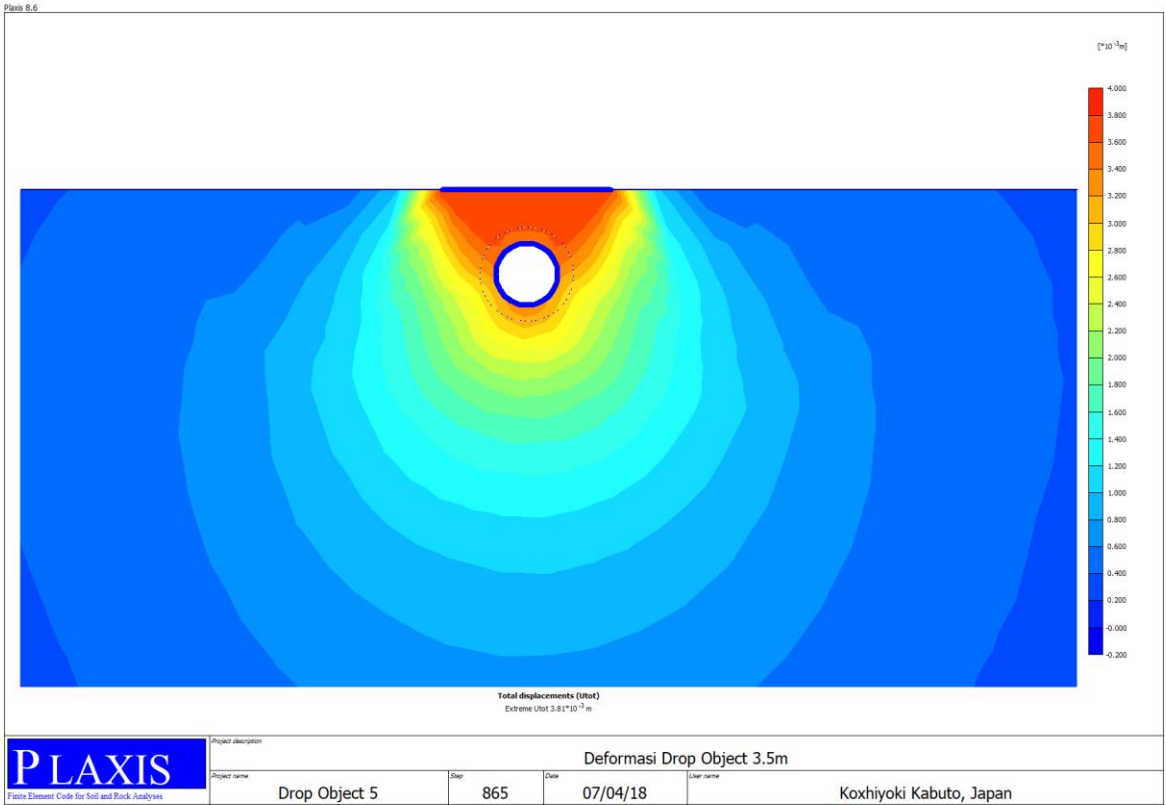
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 2.5 m dari permukaan tanah.



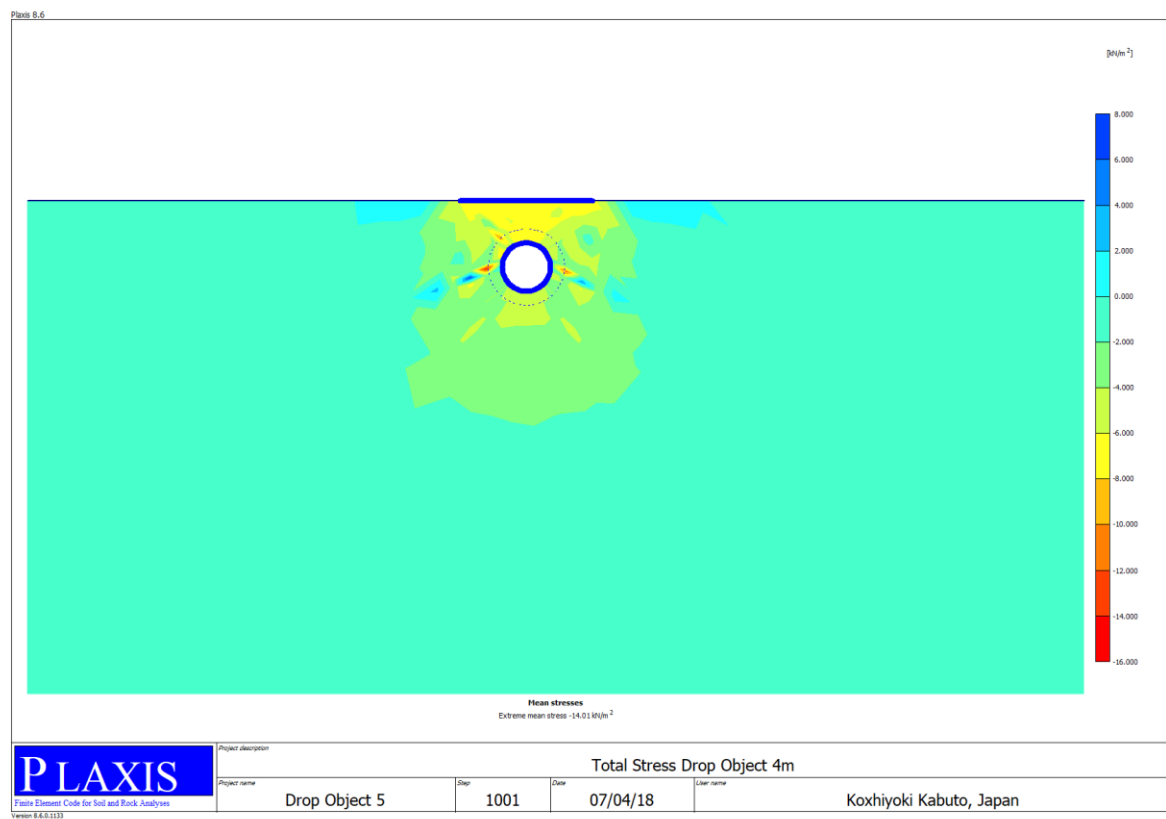
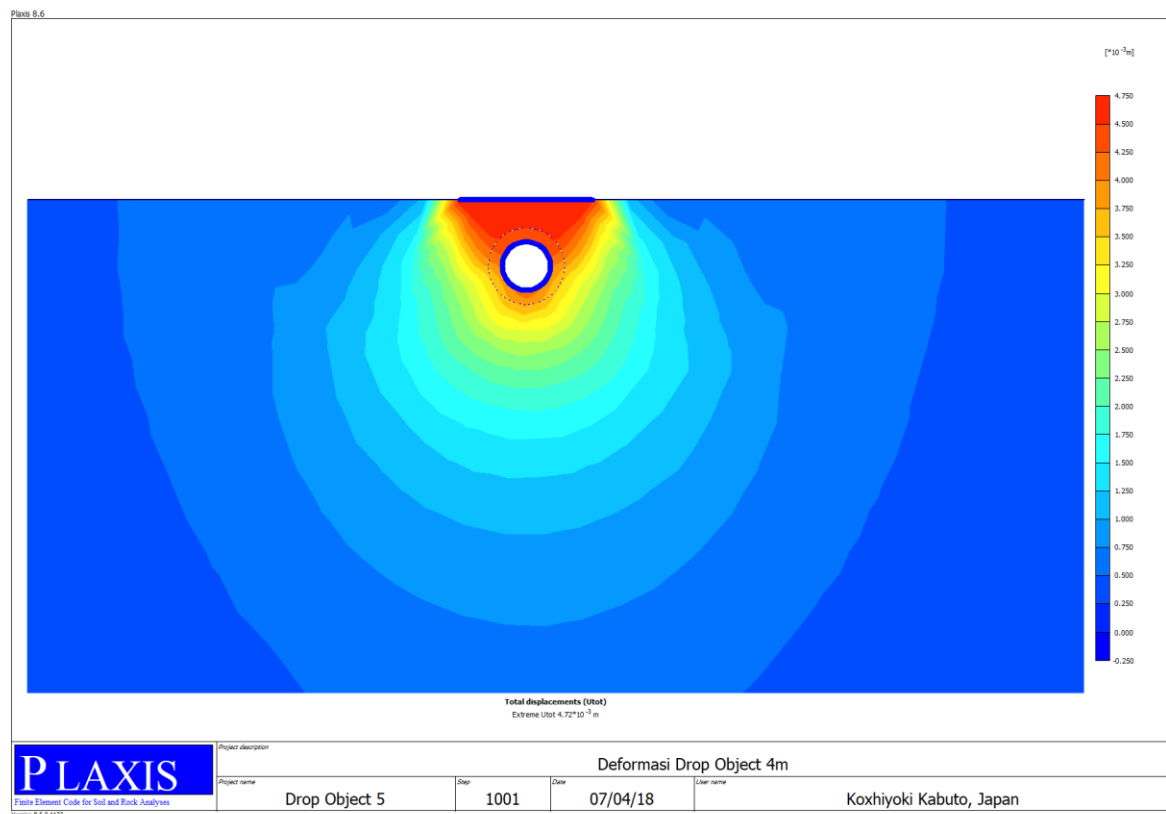
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 3 m dari permukaan tanah.



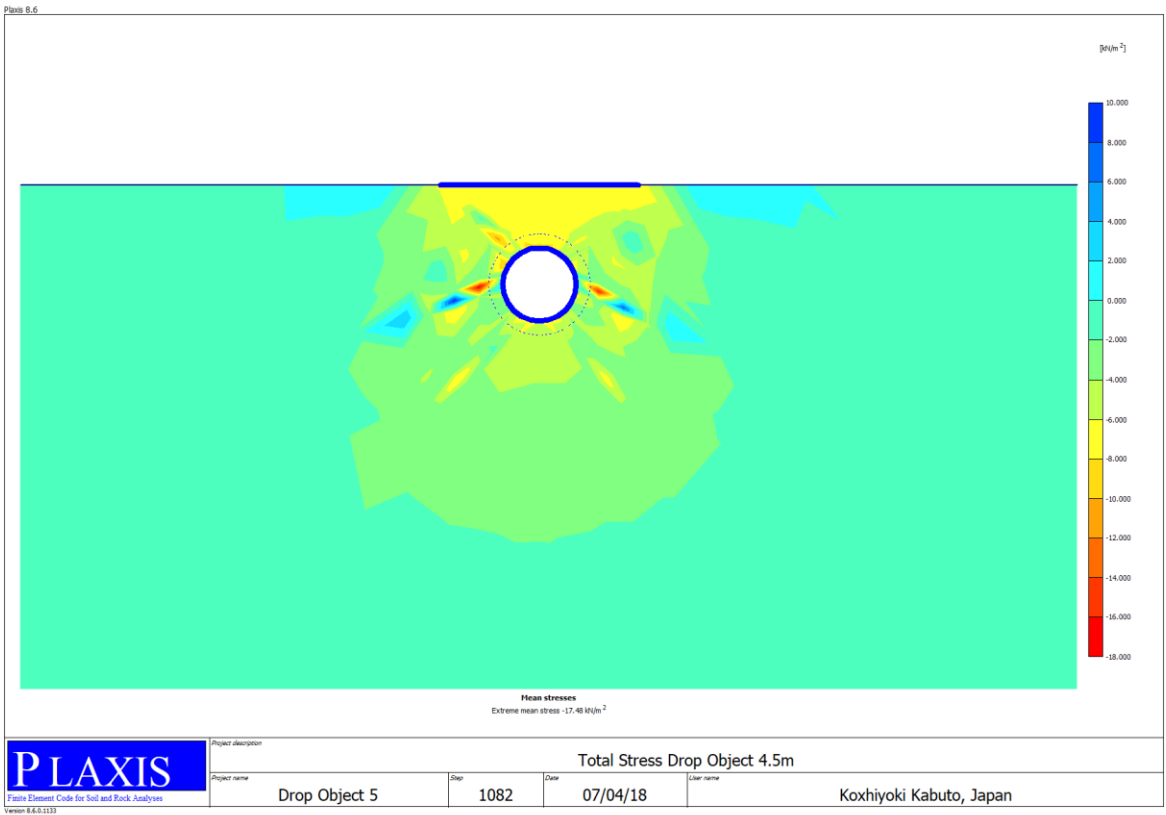
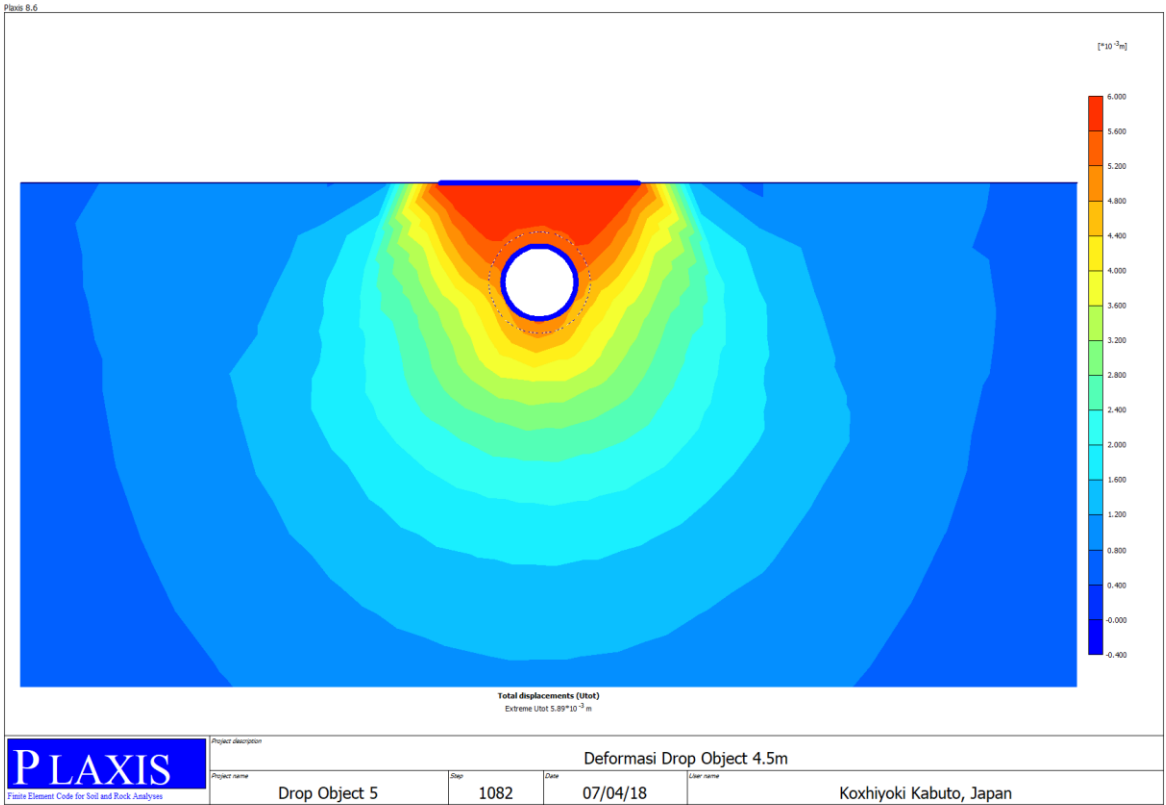
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 3.5 m dari permukaan tanah.



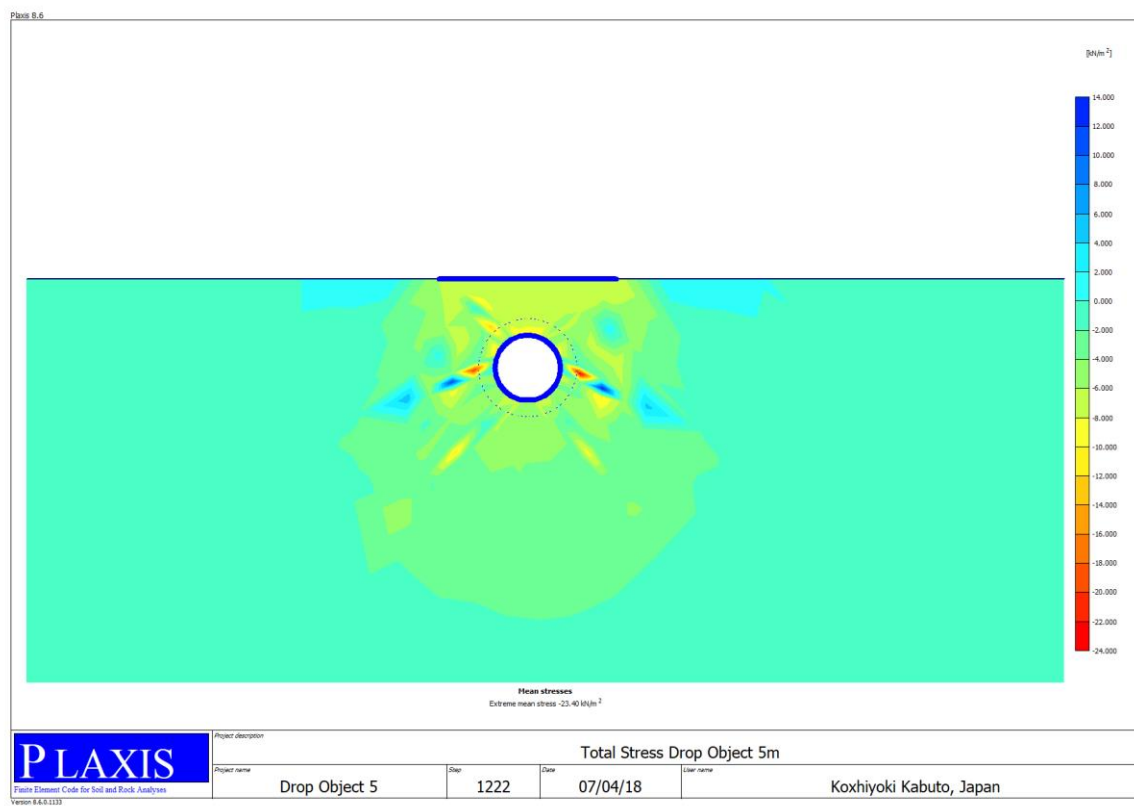
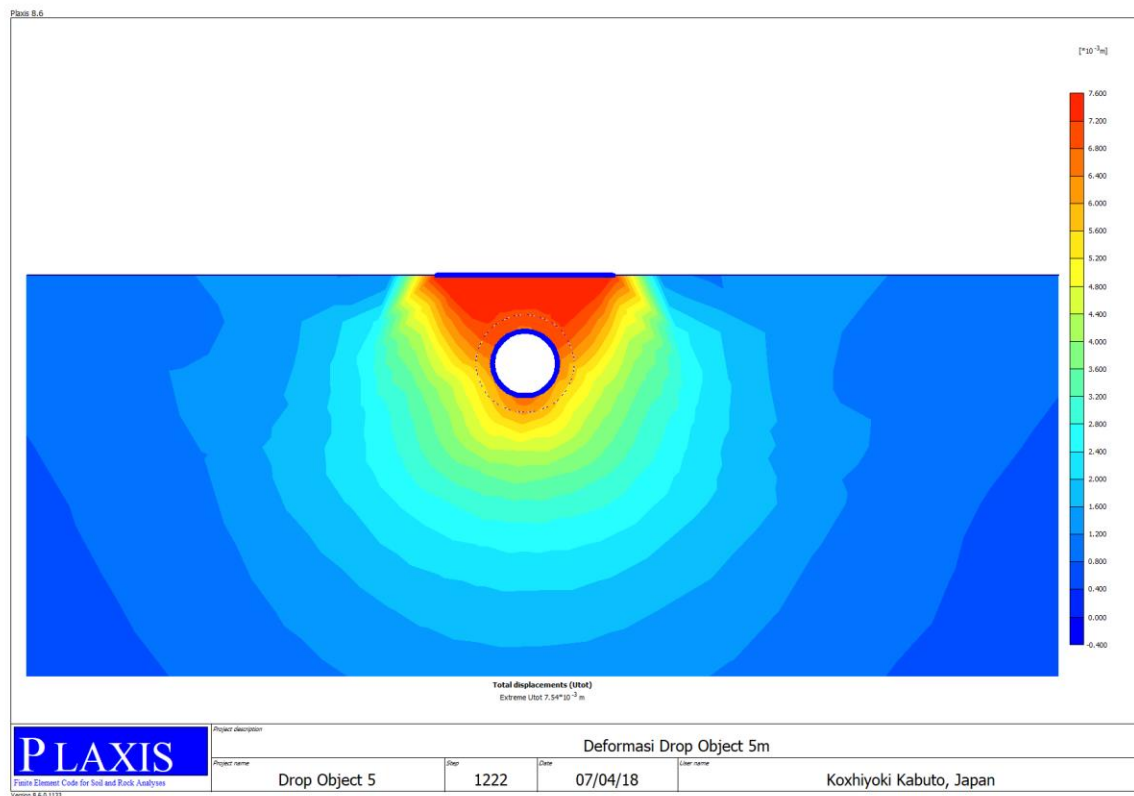
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 4 m dari permukaan tanah.



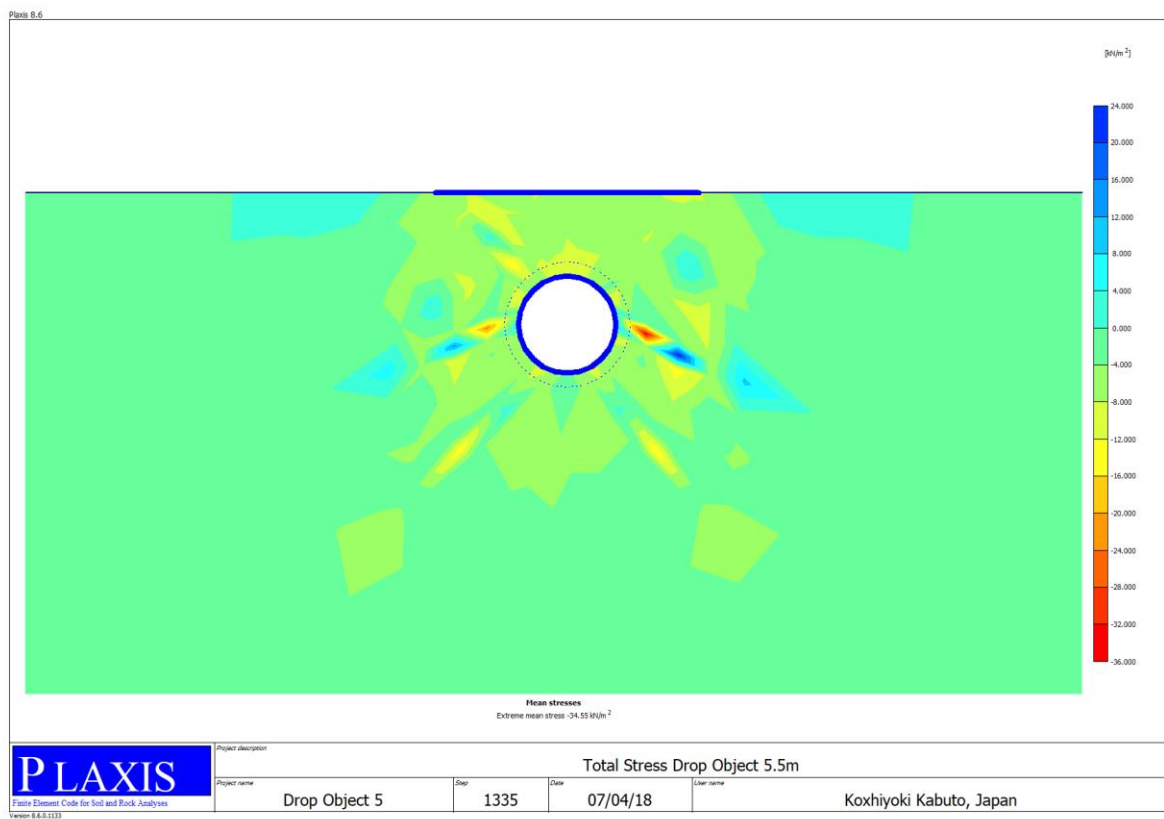
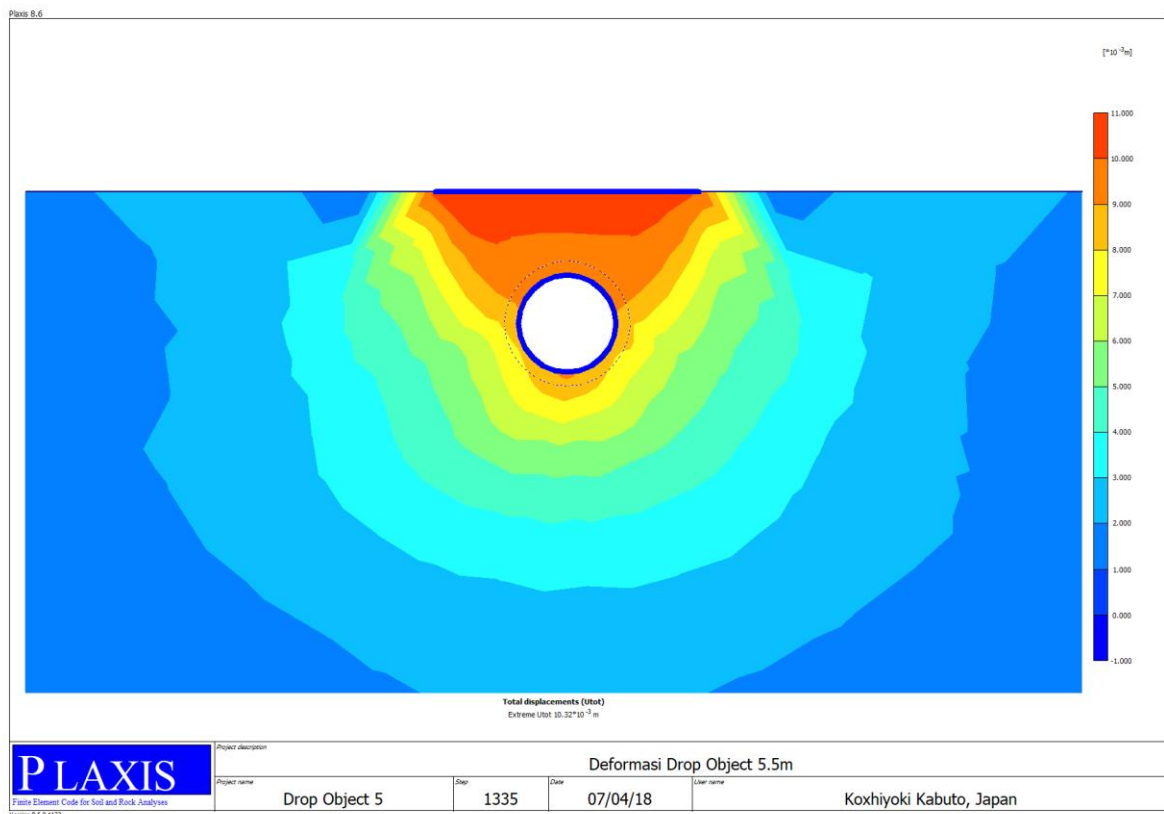
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 4.5 m dari permukaan tanah.



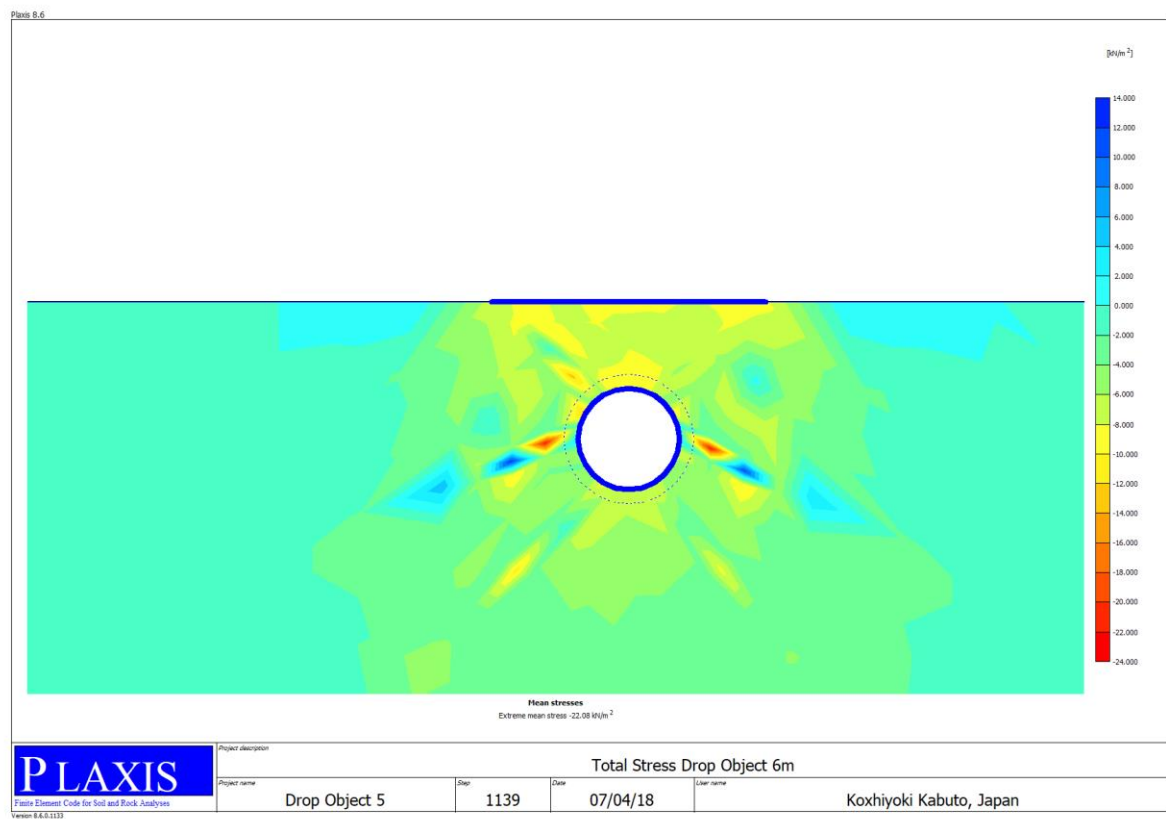
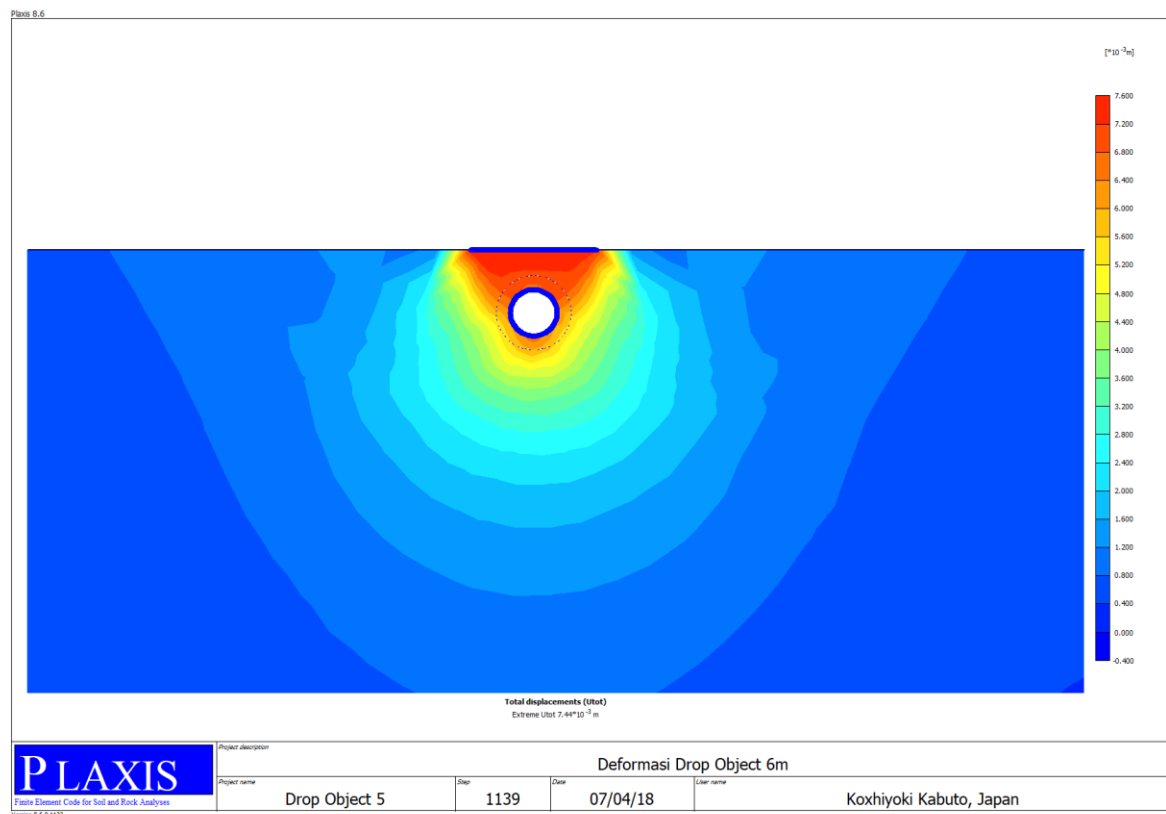
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 5 m dari permukaan tanah.



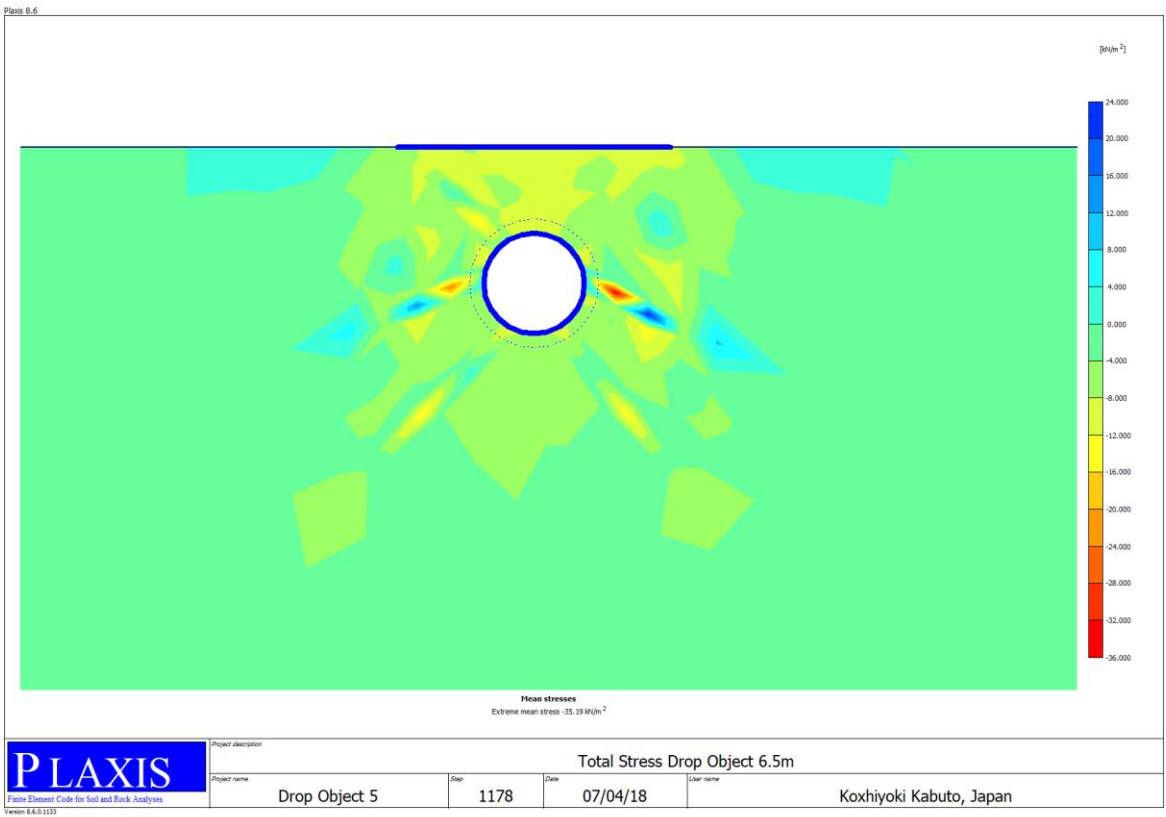
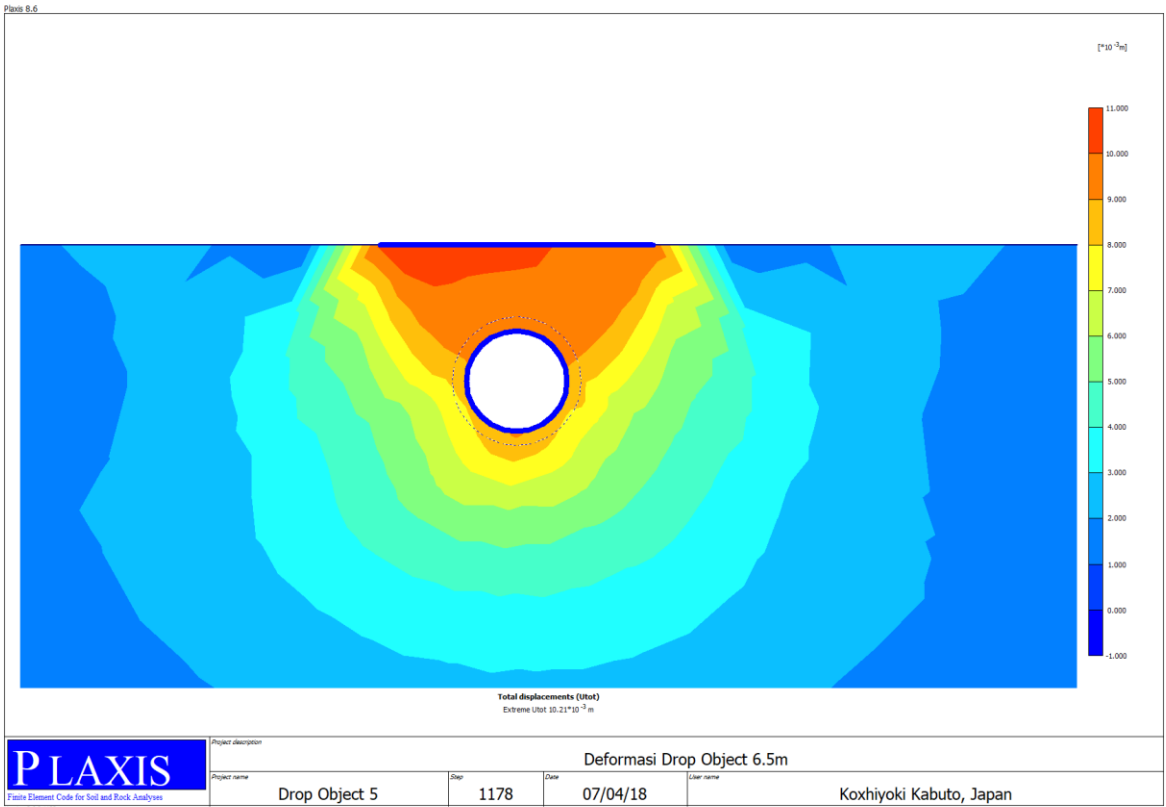
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 5.5 m dari permukaan tanah.



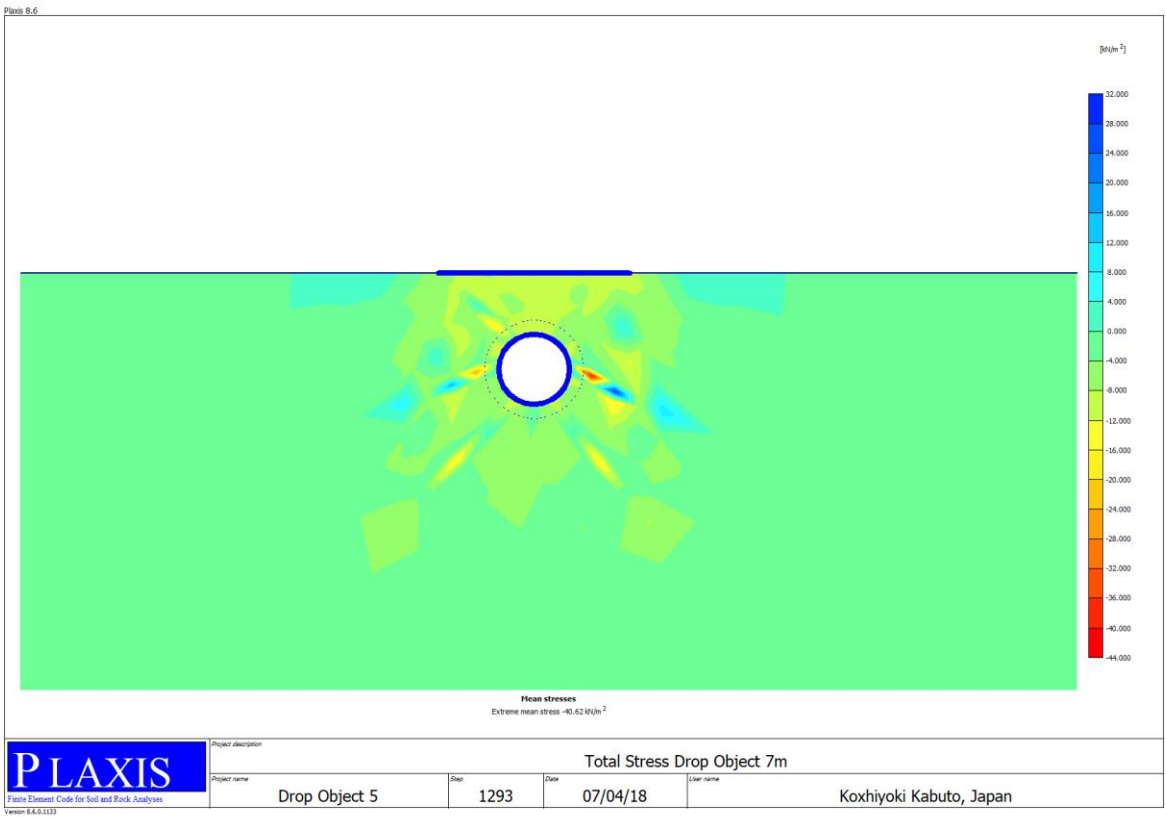
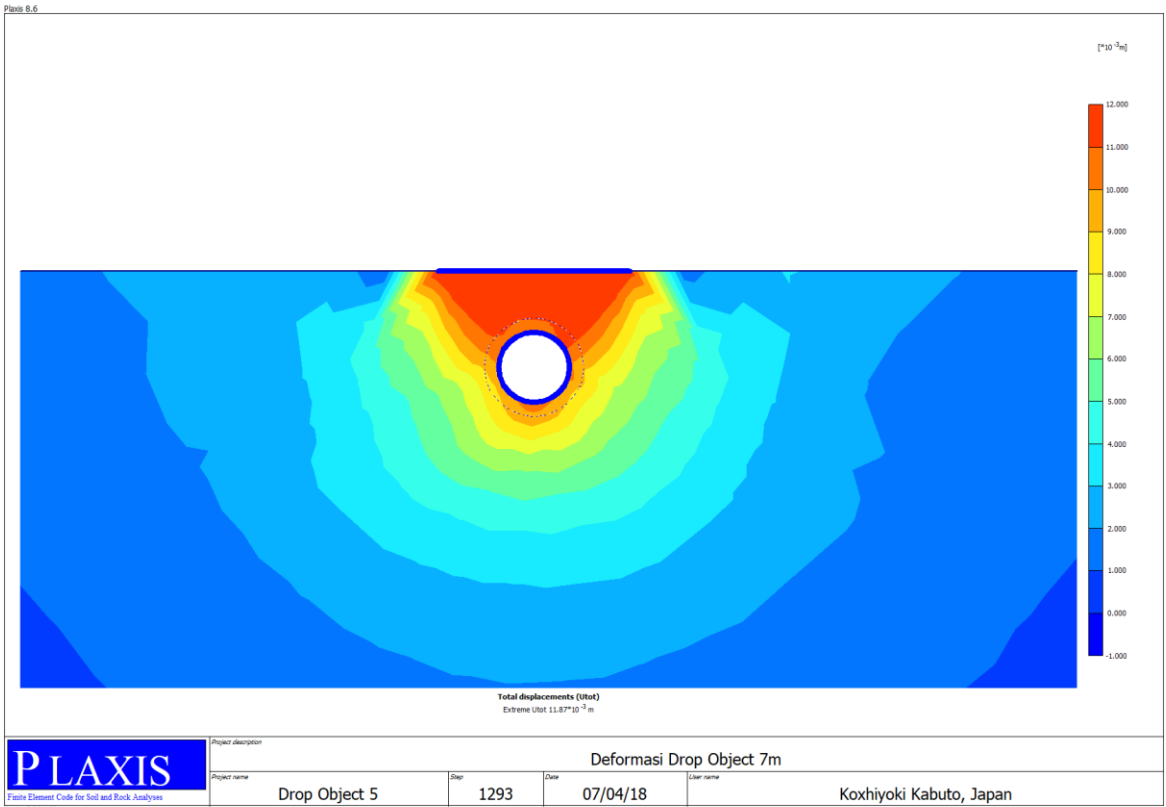
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 6 m dari permukaan tanah.



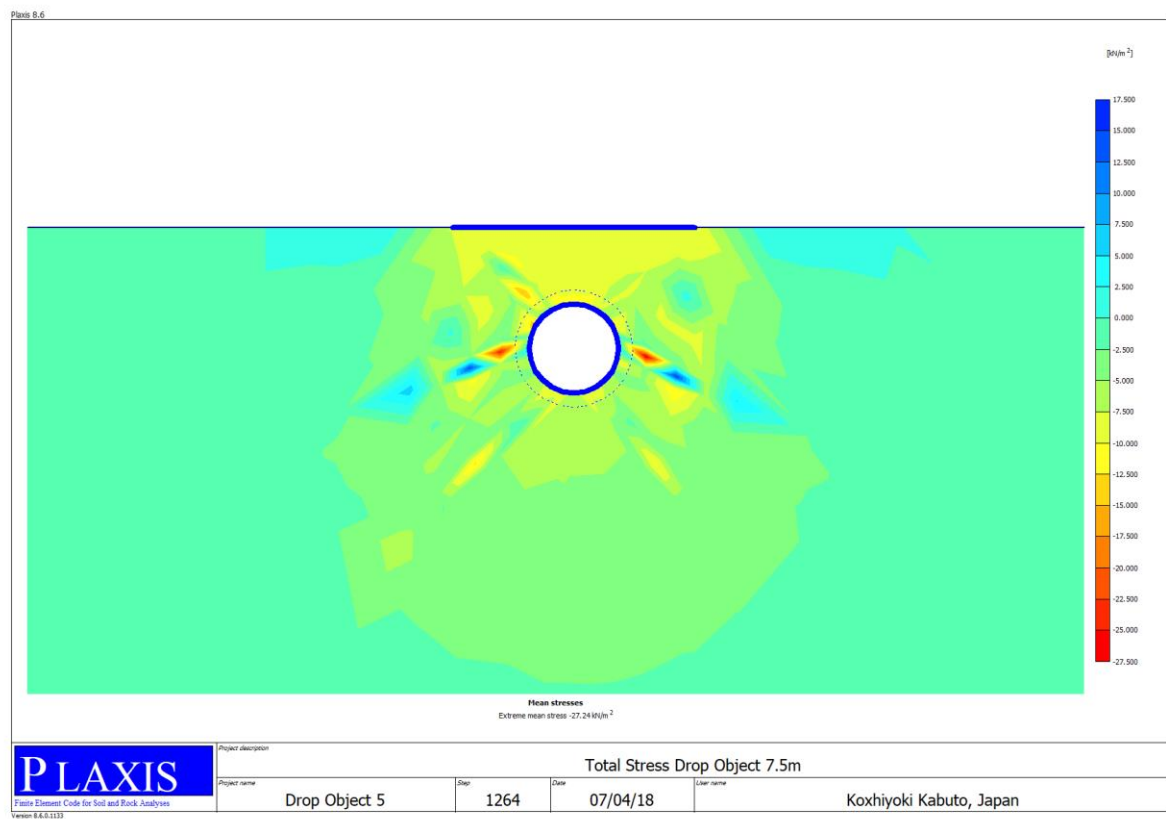
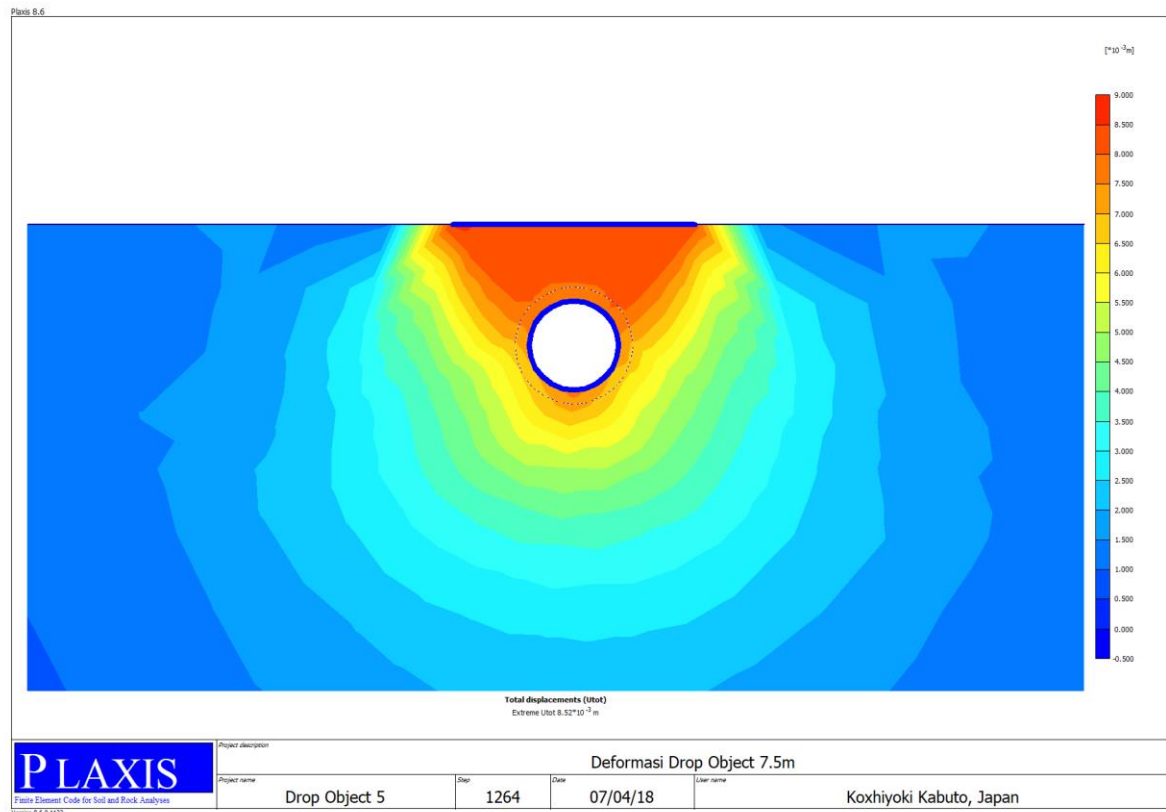
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 6.5 m dari permukaan tanah.



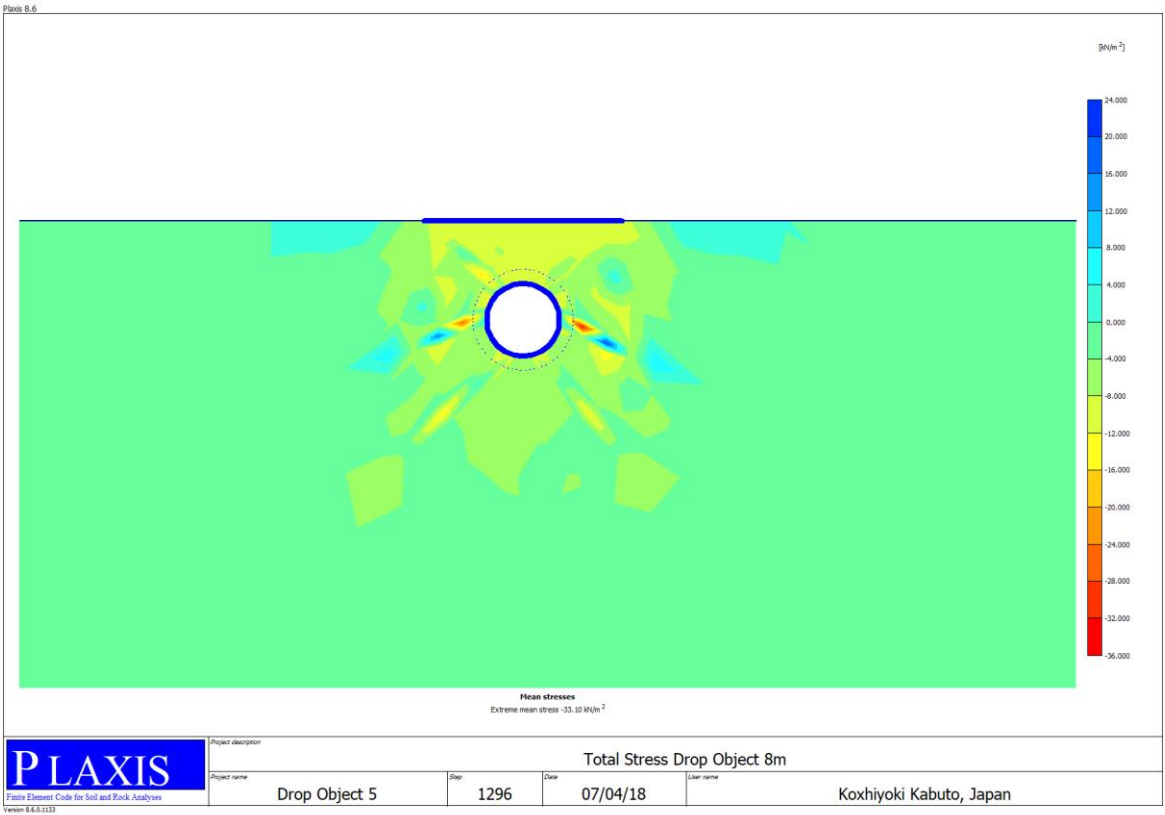
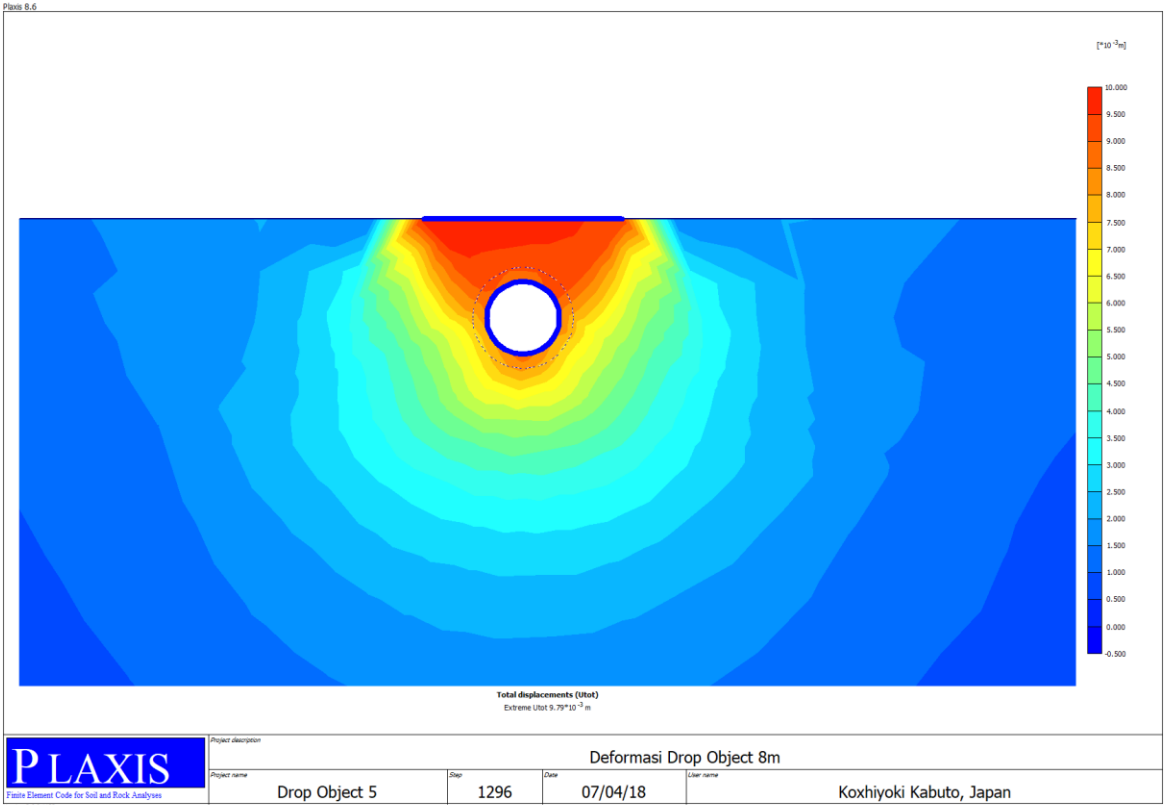
Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 7m dari permukaan tanah.



Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 7.5m dari permukaan tanah.



Hasil kalkulasi PLAXIS 2D untuk beban tumbukan 8m dari permukaan tanah.



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 12 Juni 1996. Merupakan anak tunggal pasangan R. Achmad Yusuf dan Windrati Wijayaningrum. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Ketilang Jakarta, SDI Al-Syukro Tangerang, MTs Pembangunan UIN Jakarta, dan SMAN 47 Jakarta. Setelah lulus dari SMAN 47 Jakarta, pada tahun 2014 penulis diterima menjadi mahasiswa Departemen Teknik Kelautan FTK ITS melalui jalur SNMPTN. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan perlombaan, organisasi, dan kepanitiaan, diantaranya adalah Koordinator Lapangan GERIGI ITS 2015 dan 2016, Koordinator Acara Non Kompetisi PETROLIDA 2017, Asisten Direktorat Jendral Kaderisasi Terpusat

Kementrian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM ITS Kabinet Wahana Juang, Lomba Kapal Tanpa Awak Deconbotion 2016 di Universitas Dipenogoro dan Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional di Fakultas Bisnis dan Ekonomi Universitas Udayana.. Penulis memiliki beberapa pengalaman profesional diantaranya Kangean Energy Indonesia sebagai intern di divisi support facility division dan PT. Duta Marine sebagai intern deck crew.